



UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

**Magíster en Terapia Física con Mención en
Rehabilitación Musculoesquelética**

Proyecto de Trabajo de Grado de Magíster

**“Comparación del ejercicio excéntrico y el
estiramiento estático en la flexibilidad de los
músculos isquiotibiales en sujetos jóvenes”**

Estudiante: Klgo. Nicolás Garrido Muñoz

Profesor Guía: Klgo. Gabriel Nasri Marzuca Nassr, MSc, PhD.

Temuco, 23 de Abril de 2026

RESUMEN

Introducción: La flexibilidad constituye una de las cualidades físicas fundamentales para las actividades de la vida diaria. Dentro de las estrategias terapéuticas para aumentar la flexibilidad, el estiramiento estático se posiciona como la modalidad a elección por los profesionales de la salud. Sin embargo, el efecto del estiramiento estático disminuye la fuerza. En este sentido, el entrenamiento con ejercicios de resistencia, modalidad excéntrico, ha demostrado cambios favorables en la flexibilidad del músculo esquelético sin alterar la fuerza muscular, pero se desconoce si produce resultados similares al estiramiento estático en cuanto a flexibilidad.

Objetivo: Comparar la efectividad de un programa de entrenamiento con ejercicios excéntricos versus un programa de estiramiento estático pasivo en la flexibilidad, fuerza y arquitectura muscular de los músculos isquiotibiales de sujetos jóvenes inactivos físicamente.

Materiales y métodos: Veinte y uno hombres jóvenes fueron divididos en tres grupos: grupo excéntrico (**EXC**, n=8; edad = $21,6 \pm 2,3$ años), grupo estiramiento (**EST**, n= 7; edad = $25,16 \pm 2,3$) y grupo control (**CON**, n= 6; edad = $22,6 \pm 3,2$) en este estudio experimental exploratorio. El EXC realizó el ejercicio “*Nordic Curl*” para los músculos isquiotibiales, el EST fue sometido a estiramiento estático pasivo en el mismo grupo muscular y, el CON no fue sometido a ninguna intervención. Se tomaron evaluaciones iniciales y al finalizar las 6 semanas de entrenamiento. Se evaluó flexibilidad (*KEA test* y *Sit-and-Reach test*), fuerza muscular isométrica voluntaria máxima (FIVM, celda de carga), y arquitectura muscular (grosor muscular, ángulo de penetración y largo del fascículo, ultrasonografía). Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de La Frontera (N°089/24) y cuenta con registro en ClinicalTrials.gov n° NCT06469346.

Resultados: Ambos grupos (EXC y EST) mostraron mejoras significativas en el *KEA test* (interacción tiempo x grupo $p < 0,001$) y en el *Sit-and-Reach Test* (interacción tiempo x grupo $p < 0,01$) posterior a 6 semanas de intervención. No hubo diferencias significativas entre grupos en respuesta al entrenamiento excéntrico y el estiramiento estático. No se evidenció diferencias significativas en las variables de fuerza y arquitectura muscular entre grupos (efecto del tiempo, $p > 0,05$)

Conclusión: El entrenamiento excéntrico resulta una estrategia favorable para aumentar la flexibilidad de los músculos isquiotibiales de manera similar al estiramiento estático con aumento de la fuerza muscular en la extremidad dominante. Estos resultados deben considerarse con cautela debido al carácter exploratorio del estudio.

Palabras claves: Ejercicio excéntrico, estiramiento estático, flexibilidad muscular, rango de movimiento.

Soporte Financiero: Beca Magíster Nacional perteneciente a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, N° 22241188. Fondo Nacional de Equipamiento Científico y Tecnológico Mediano 2024 (ANID + FONDEQUIP + EQM 240021).

ABSTRACT

Introduction: Flexibility is part of the fundamental physical qualities for activities of daily living. Within therapeutic strategies to increase flexibility, static stretching is positioned as the gold standard among health professionals. However, the effect of static stretching on muscular strength is detrimental. In this regard, resistance exercise training, especially eccentric exercise, has demonstrated favorable changes in skeletal muscle flexibility without impairing muscle strength, but it is unknown whether it produces results similar to static stretching on flexibility.

Objective: To compare the effect of an eccentric exercise program versus a passive static stretching program on flexibility, muscle strength and muscle architecture of the hamstrings in physically inactive young adults.

Materials and Methods: Twenty-one young men were divided into three groups: eccentric group (EXC, n = 8; age = 22.3 years), static stretching (EST, n = 7; age = 25.2 years) and control group (CON, n = 6; age = 23.3 years) in this exploratory study. The EXC group performed the “Nordic Curl” exercise for the hamstring muscles, the EST group underwent passive static stretching of the same muscle group, and the CON group did not receive any intervention. Assessments were conducted at baseline and at the end of the 6-week intervention program. Flexibility (KEA test and Sit-and-Reach test), maximal voluntary isometric contraction (MVIC, load cell), and muscle architecture (muscle thickness, pennation angle, and fascicle length, ultrasonography) were evaluated. This study was approved by the Ethics Committee of the Universidad de La Frontera (No. 089/24) and is registered at ClinicalTrials.gov No. NCT06469346,

Results: Both groups (EXC and EST) showed significant improvements in the KEA test (time x group interaction $p < 0,001$) and in the Sit-and-Reach test (time x group interaction $p < 0,01$) after 6-week intervention. There were no significant differences between groups in response to eccentric training and static stretching. No significant differences were observed in strength and muscle architecture variables between groups (time effect, $p > 0,05$).

Conclusion: Eccentric training is a favorable strategy to increase hamstring flexibility in a manner similar to static stretching. Also, eccentric exercise improves muscle strength on the dominant lower limb. These results should be interpreted with caution due to the exploratory nature of the study.

Keywords: eccentric exercise, static stretching, muscle flexibility, range of motion.

Financial Support: Beca Magíster Nacional perteneciente a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, N° 22241188. Fondo Nacional de Equipamiento Científico y Tecnológico Mediano 2024 (ANID + FONDEQUIP + EQM 240021).

Agradecimientos

El presente trabajo de tesis fue desarrollado con el apoyo y colaboración de diferentes personas a quienes quisiera agradecer sinceramente. En primer lugar, agradezco al cuerpo académico del programa de Magíster en Terapia Física con mención, por permitirme ser parte de este programa desde el temprano inicio de mi carrera profesional, por la formación entregada, y las diferentes oportunidades de colaboración que he podido establecer con colegas de diferentes partes gracias a las actividades del programa. En particular, agradezco al profesor Dr. Gabriel Marzuca Nassr, por su orientación y apoyo académico en el desarrollo del presente Trabajo de Grado, así como agradezco su confianza y mentoría depositada en mí para trabajar en conjunto en proyectos que impulsan mi carrera como futuro investigador. Asimismo, quiero agradecer a la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) y a la Universidad de La Frontera, quienes a través de la Beca de Magíster Nacional y Beca de Vinculación Pregrado – Postgrado, respectivamente, me otorgaron el apoyo financiero para el desarrollo de este programa de magíster.

Agradezco al Laboratorio de Regulación de Masa y Fuerza Muscular Esquelética de la Universidad de La Frontera, por facilitarme las instalaciones e implementos para el desarrollo de este trabajo, así como servir de espacio de discusión e integración de conocimiento en el área de las ciencias del ejercicio y rehabilitación. De este mismo laboratorio, agradezco la colaboración de los diferentes miembros (Klga. Mg. Laura Castillo, Klga. Valentina Barra-Lutz), estudiantes (Cristhoffer Moenne-Loetz, Claudia Peña) y colegas colaboradores (Dr. Cristian Caparrós Manosalva, Klgo. Mg. Felipe Ponce Fuentes) en el desarrollo del proyecto.

Finalmente, agradezco el apoyo de mi familia (Álvaro Garrido Varela, Marcela Muñoz Gallardo, María Jesús Garrido Muñoz) y pareja (Javiera Novoa Ceballos), por su paciencia y ánimo entregado durante el proceso de estudios del programa académico, y en particular, en el desarrollo de este trabajo de grado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	7
MARCO TEÓRICO	9
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	33
RESULTADOS	34
DISCUSIÓN	41
CONCLUSIÓN	44
REFERENCIAS	¡Error! Marcador no definido.

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Efectos fisiológicos del estiramiento sobre el ROM.....	14
Figura 2. Representación esquemática de los miofilamentos	18
Figura 3. Diseño de Intervención	26
Figura 4. Puntos de referencia para la medición de la arquitectura muscular.....	31
Figura 5. Imagen de referencia para medición de la arquitectura muscular	32
Figura 6. Flujograma de inclusión y distribución de participantes	35
Figura 7. Gráficos de Resultados KEA test	37
Figura 8. Gráficos de Resultados <i>Sit-and-Reach test</i>	38
Figura 9. Gráficos de Resultados Fuerza Isométrica Voluntaria Máxima	39

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión	24
Tabla 2. Características basales de los participantes	36
Tabla 3. Valores de flexibilidad y fuerza muscular antes y después de 6 semanas de ejercicio excéntrico vs estiramiento estático.....	40
Tabla 4. Valores de Arquitectura Muscular antes y después de 6 semanas de ejercicio excéntrico vs estiramiento estático	41

INTRODUCCIÓN

La flexibilidad es una cualidad física que representa la capacidad del tejido muscular de extenderse a través del rango de movimiento de una articulación, siendo relevante para el desarrollo de las actividades de la vida diaria y para mantener una adecuada calidad de vida durante el periodo de vida(1). El Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM), considera la flexibilidad muscular como uno de los componentes de la condición física que deben incluirse en la mayoría de los programas de salud(2,3).

La falta de flexibilidad, expresada como la limitación en el rango de movimiento de una articulación, predispone a un aumento en la prevalencia de lesiones musculoesqueléticas en la población general y a un mayor tiempo en el retorno a la actividad posterior a una lesión en población deportiva(4–6). Por ejemplo, personas recreacionalmente activas con menor flexibilidad han demostrado una mayor incidencia en sufrir nuevamente un desgarro en los músculos isquiotibiales posterior a un episodio previo de lesión(7).

Entre las estrategias comúnmente utilizadas para el aumento de la flexibilidad, tanto en la preparación física como en la rehabilitación de afecciones musculoesqueléticas, el estiramiento estático se posiciona como la modalidad de preferencia por los profesionales de salud y actividad física(8). Se ha evidenciado su efectividad en el aumento de la flexibilidad, sin embargo, la aplicación del estiramiento estático condiciona las adaptaciones de fuerza y potencia muscular obtenidas por el entrenamiento con ejercicios de resistencia (también conocido como entrenamiento de fuerza)(9,10).

En este sentido, se han indagado los efectos del entrenamiento con ejercicios de resistencia sobre la flexibilidad, de manera que no exista interferencia entre el aumento de la flexibilidad y la ganancia de fuerza y potencia muscular(11–13). Entre los tipos de contracción muscular, la contracción excéntrica ha demostrado promover adaptaciones estructurales en el músculo esquelético, no solo favorables para la producción de fuerza, sino también para la flexibilidad de este, como son una mayor longitud de los fascículos musculares y un menor ángulo de penetración(11,14,15). No obstante, no se ha determinado si un protocolo de entrenamiento con ejercicios excéntricos obtiene similares o mejores resultados en comparación al estiramiento estático en el aumento de la flexibilidad, considerando además su efecto sobre la fuerza y potencia

muscular. Hasta la fecha, solamente dos estudios han llevado a cabo la comparación directa de ambas modalidades de ejercicio con resultados similares entre las intervenciones en la flexibilidad muscular(16). Sin embargo, la población de estudio y el protocolo de intervención excéntrico utilizado en los estudios presentan limitaciones y variables de confusión que dificultan la obtención de resultados concluyentes. En este contexto, se desarrolla un estudio exploratorio que permita evaluar los efectos de un protocolo de entrenamiento excéntrico adecuadamente ejecutado, permitiendo una comparación más precisa con el estiramiento estático en la flexibilidad.

A partir de lo mencionado anteriormente, el propósito de este trabajo consistió en comparar la efectividad del entrenamiento con ejercicio excéntrico versus con estiramiento estático en la flexibilidad y fuerza muscular de los músculos isquiotibiales en sujetos jóvenes.

MARCO TEÓRICO

a. FLEXIBILIDAD

El término flexibilidad corresponde a una cualidad física, definida como la capacidad que tiene un individuo de mover voluntariamente una articulación, o conjunto de articulaciones, a través del rango de movimiento que dicha articulación o articulaciones permiten gracias a la extensibilidad de los tejidos musculares y conectivos(17,18). La expresión de la flexibilidad se presenta como el mayor rango de movimiento articular (ROM), alcanzado por dos segmentos corporales dentro de un plano de referencia sobre un eje de movimiento(19).

Para permitir el movimiento, el concepto de flexibilidad no solo engloba la extensibilidad de los tejidos blandos que componen el sistema musculoesquelético y neurovascular, sino también la configuración biomecánica articular, la presencia de patologías musculoesqueléticas y/o neurales, la edad, el sexo, factores ambientales y conductuales, entre otros(20,21).

b. IMPACTO DE LA FLEXIBILIDAD EN LA FUNCIONALIDAD

Mantener una adecuada flexibilidad es necesaria para una óptima funcionalidad y calidad de vida(1). Su impacto no radica exclusivamente en el rango de movimiento expresado por una articulación, sino influye en la eficiencia energética del músculo esquelético y la producción de fuerza muscular(17,22,23).

El grado de flexibilidad alcanzado por un individuo se ve determinado, en parte, por las características biomecánicas de “*stiffness*” y “*compliance*” del tejido musculoesquelético. Por un lado, el “*stiffness*” corresponde al cambio en la tensión muscular por unidad de cambio de su longitud, mientras la “*compliance*” es el cambio en la longitud muscular por unidad de cambio de su tensión(24). En este sentido, el grado de flexibilidad es inversamente proporcional al “*stiffness*” muscular que presenta y, por tanto, la producción de fuerza muscular se ve condicionada por esta cualidad(1,17). Según propone Shorten M. (2015),(22) esto se debe a que un músculo con menor “*stiffness*” sufre una mayor deformación elástica al verse sometido a una fuerza tensil activa, mejorando la absorción de energía. Esta mayor absorción una vez liberada a través del ciclo estiramiento – acortamiento provoca un aumento en la capacidad de producir fuerza y disminuye

el tiempo en que se produce(22). Por otro lado, Thys H et al. (1975),(23) evaluaron el rol de la “*compliance*” en los músculos cuádriceps durante el ejercicio de sentadilla y demostraron que la utilización elástica del tejido muscular disminuye en promedio un 15% el trabajo concéntrico, aumenta la potencia muscular en un 29% y la velocidad del movimiento en un 21%. El hecho de utilizar la energía elástica almacenada provoca una reducción del 22% en el consumo de oxígeno durante el ejercicio(23).

c. DISMINUCIÓN DE LA FLEXIBILIDAD EN LA MUSCULATURA ISQUIOTIBIAL

Uno de los principales grupos musculares considerados en la mantención de la flexibilidad son los músculos isquiotibiales (músculos Bíceps Femoral, Semitendinoso y Semimembranoso) debido a su susceptibilidad a sufrir “acortamiento” muscular (del inglés, “*shortening*” o “*tightness*”). En el ámbito clínico, este acortamiento se define como un déficit mayor a 20° a la extensión de rodilla pasiva con la cadera en flexión de 90°(25).

Muchas razones pueden derivar en la falta de flexibilidad de la musculatura isquiotibial, de las cuales resalta la inactividad física(25,26). Jabbar M et al. (2021),(25) demostraron que la conducta sedentaria se asocia con un 56% de probabilidad de presentar limitación en la flexibilidad de los isquiotibiales. Su “acortamiento” puede influir en la postura y reducir la lordosis lumbar, siendo un factor de riesgo para desarrollar dolor lumbar de tipo mecánico(27). En el ámbito deportivo, jugadores de fútbol de élite con una longitud del fascículo del bíceps femoral menor a 10,56 centímetros en la pretemporada tienen una incidencia 4,1 veces mayor de sufrir lesiones durante el arranque de la temporada, entre las que se incluyen tendinopatías en la inserción proximal, desgarros musculares o avulsiones completas o incompletas del tendón(28)(29). Si bien, los factores que explican la falta de flexibilidad de la musculatura isquiotibial son de carácter multifactorial, la conducta sedentaria pareciera ser el factor predominante de acortamiento isquiotibial en sujetos inactivos físicamente.(30)

d. EVALUACIÓN DE LA FLEXIBILIDAD

La flexibilidad puede ser evaluada considerando diferentes procedimientos. Entre los más utilizados se encuentra el uso del goniómetro o inclinómetro, los cuales se posicionan de acuerdo con el plano de movimiento evaluado(31). Estos instrumentos permiten la medición del ángulo formado entre dos segmentos corporales, pero requiere de métodos estandarizados de aplicación que permitan resguardar su precisión y confiabilidad durante las evaluaciones intra e inter evaluador(31,32). Por lo general, el uso del goniómetro o inclinómetro contemplan la evaluación pasiva del ROM y no la evaluación activa, ya que con esta última otros factores entran en juego en la capacidad de movimiento que presenta un individuo (como la fuerza muscular y la coordinación intermuscular)(33). Por ejemplo, una de las evaluaciones estandarizadas de la flexibilidad en contexto clínico que utiliza estos instrumentos es la medición del Test de Ángulo de Extensión de Rodilla (*KEA test; Knee Extension Angle test*), considerado una de las prueba de referencia para evaluar la flexibilidad de los músculos isquiotibiales(34). Para evaluar la flexibilidad mediante el *KEA test*, el individuo se recuesta en supino con ambos miembros inferiores extendidos. El evaluador flexiona la cadera ipsilateral a 90° y la mantiene en esa posición mientras la rodilla de la misma extremidad es extendida de manera pasiva hasta el punto en que el evaluador siente una ligera resistencia, o bien, en que la sensación de estiramiento en los isquiotibiales es fuerte pero tolerable. De esta manera, el grado de extensión de rodilla final puede ser medido con un goniómetro a nivel de rodilla o un inclinómetro a nivel tibial.(34) La extremidad inferior contralateral se mantiene estabilizada en posición extendida con un fijador. La fiabilidad intra evaluador de este test ha sido reportada de un valor 0,99.(35)

Asimismo, existen otras pruebas funcionales ampliamente utilizadas en la práctica clínica por su rapidez y bajo costo de aplicación, como el *Back-Scratch Test* y el *Sit-And-Reach Test*(34,36). Estas pruebas tienden a ser realizadas de forma bilateral simultáneamente, por lo que la evaluación de la flexibilidad se considera dentro de un parámetro global de rendimiento(34). El *Sit-and-Reach test* requiere un banco de medición con una regla en su parte superior. Se solicita al individuo que se sienta en el suelo con ambas rodillas extendidas apoyando la planta de los pies contra el banco, de modo que coincidan con el valor cero de la medición. Luego, se le solicita al sujeto que pueda alcanzar delante de él lo más lejos que pueda (por sobre el banco de medición) y mantener la posición durante 2 segundos.

Finalmente, existen evaluaciones de la flexibilidad mediante ecografía orientadas a analizar las características morfoestructurales del músculo esquelético que pueden influir en esta, como son el ángulo de penación y el largo del fascículo. Su medición resulta útil para determinar el estado actual del músculo, así como analizar cambios antes y después de protocolos de intervención dirigidos a mejorar la flexibilidad mediante la modificación de estos parámetros(37).

Dada la importancia de la flexibilidad en la funcionalidad, se han propuesto diversas maneras para mejorar esta cualidad y, por ende, el ROM. Entre ellas se incluyen el entrenamiento de fuerza, el pilates y el estiramiento muscular, siendo esta última la técnica más ampliamente utilizada tanto en el ámbito de la rehabilitación como acondicionamiento físico.(38,39) En este contexto, resulta relevante analizar las diferentes modalidades de estiramiento que se emplean en la práctica clínica y deportiva.

e. ESTIRAMIENTO MUSCULAR Y SUS MODALIDADES.

Diversas modalidades de estiramiento han sido propuestas como herramientas en el aumento de la flexibilidad y, por tanto, del ROM(40–42). El estiramiento muscular, en cualquiera de sus modalidades, consiste en someter al tejido muscular y tejido conectivo a un estrés tensil cercano al punto de mayor elongación permitido por el sistema neuromuscular(43). Las tres modalidades comúnmente utilizadas en la rehabilitación y acondicionamiento físico son la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (de sus siglas en inglés PNF, *Proprioceptive Neuromuscular Facilitation*), estiramiento balístico y estiramiento estático.

La PNF fue desarrollada como método de rehabilitación para individuos que sufrían de alteraciones del tono muscular como espasticidad o hipotonía, a través de circuitos inhibitorios/excitatorios del mismo(44). La PNF consiste en el estiramiento pasivo del músculo acompañado de una contracción activa (por lo general isométrica) del mismo. La forma más común de PNF es generar estiramiento de un músculo de forma pasiva, para luego generar una contracción isométrica en el rango de estiramiento actual. Luego, se le solicita al sujeto que deje de contraer y se vuelve a poner bajo estiramiento el músculo a un nuevo ROM disponible.(42) A pesar de ser una estrategia efectiva en aumentar el ROM a corto plazo, el estiramiento estático obtiene iguales e incluso mejores resultados posterior a un protocolo de intervención en comparación al PNF(43,45). López – Bedoya, J et al. (2013),(40) compararon un protocolo de intervención de 9 semanas, 2 veces por semana, en

el aumento de la flexibilidad de los músculos isquiotibiales (mediante el ROM de flexión de cadera) de manera activa y pasiva entre un grupo de estiramiento estático y PNF en sujetos jóvenes. Los resultados del estudio demostraron que ambas metodologías son eficientes en aumentar la flexibilidad de los isquiotibiales, siendo mayor la ganancia en el grupo que realizó estiramiento estático (8,2 vs 3,1% de mejora en el ROM activo y 19,5 vs 14,3% de mejora en el ROM pasivo después del estiramiento estático y PNF, respectivamente)(40).

Por otro lado, otra modalidad de entrenamiento de la flexibilidad es el estiramiento balístico. Este se ejecuta mediante un estiramiento repentino y rápido de un músculo, de manera que se alcanza en varios movimientos (conocido en inglés como “*bouncing*”) el ROM máximo de una articulación(46). Se ha estudiado la efectividad del estiramiento balístico sobre la flexibilidad muscular, con resultados favorables en el aumento del ROM(39,46,47). Sin embargo, al igual que el PNF, el estiramiento balístico no se muestra superior en comparación al estiramiento estático(41). En un estudio realizado por Covert C. et al. (2010)(41), compararon el efecto de un programa de 4 semanas de estiramiento balístico vs el estiramiento estático sobre la longitud muscular de los músculos isquiotibiales a través del KEA test en sujetos jóvenes recreacionalmente activos. Ambos grupos fueron sometidos a la misma dosificación de ejercicio, adaptada a cada modalidad de estiramiento. El grupo de estiramiento estático mostró una disminución de 31,2° a 19,3° en el KEA test frente al cambio desde 28,8° a 25° en el grupo de estiramiento balístico. A ciencia cierta, aún no se pueden extraer conclusiones sobre la dosificación adecuada en la prescripción del estiramiento balístico, por tanto, el estiramiento estático (descrito a continuación) sigue siendo la modalidad de preferencia para el entrenamiento de la flexibilidad(41).

f. ESTIRAMIENTO ESTÁTICO

El estiramiento estático consiste en el posicionamiento de la extremidad de manera sostenida hasta percibir una sensación de “tensión” o “tirantez” fuerte, pero tolerable en el músculo objetivo(8). La aplicación del estiramiento estático puede ser pasiva de manera auto asistida por el individuo, pasiva asistida por parte de un externo o de manera activa. La evidencia sostiene que estiramientos entre 30 a 60 segundos son suficientes para aumentar el ROM mediante el estiramiento estático, sin diferencias significativas en tiempos mayores a 60 segundos(2,18). De manera general, se recomienda que la frecuencia de estiramiento sea de 2 a 3 veces por semana, con 2 a 4 sets por cada

ejercicio y la intensidad sea hasta sentir una sensación de tirantez o ligero *discomfort* en el músculo objetivo(2).

g. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS AL ESTIRAMIENTO ESTÁTICO

Dos mecanismos principales han sido propuestos para explicar el aumento de la flexibilidad muscular posterior al estiramiento estático(17,21). En la **Figura 1**, se presenta un resumen esquemático de los procesos fisiológicos involucrados en el aumento del ROM posterior al estiramiento.

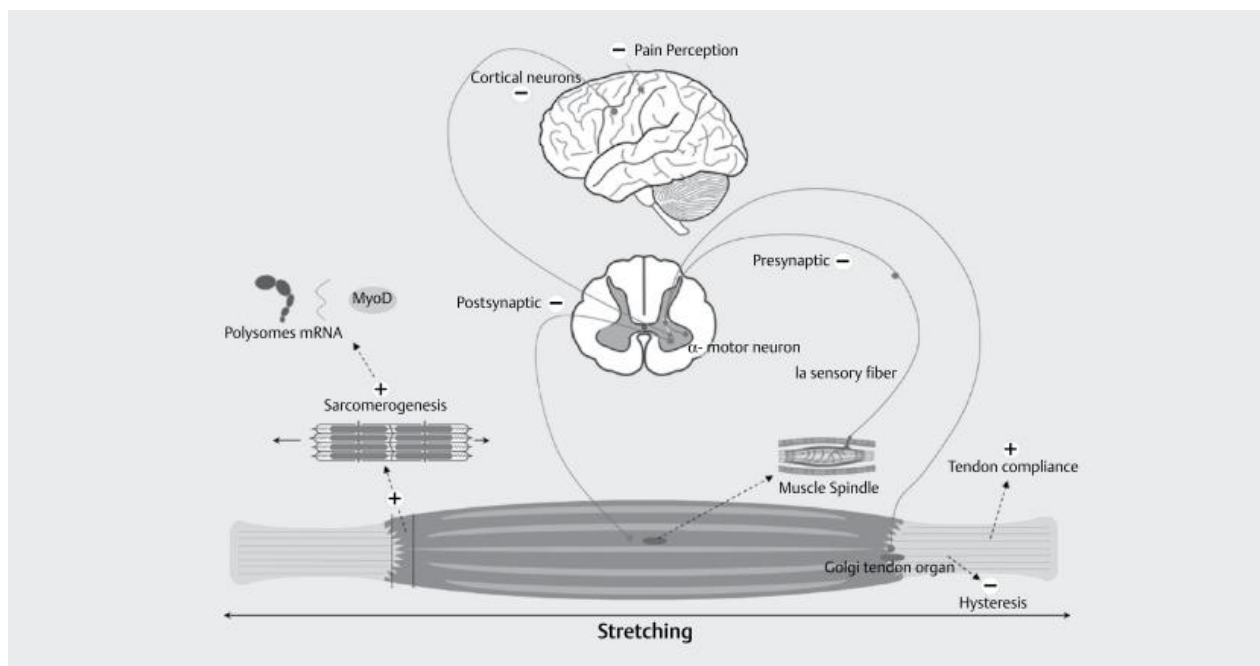


Figura 1. Representación esquemática de los principales factores involucrados en el aumento del ROM posterior al estiramiento. La inhibición presináptica del huso neuromuscular y órgano tendinoso de Golgi parecieran ser el principal mecanismo adaptativo del estiramiento estático. Tomado sin autorización de Thomas E *et al.* (2018)(17). En la Figura: α -motor neuron: motoneurona- α ; Cortical Neurons: Neuronas Corticales; Golgi Tendon Organ: Organo Tendinoso de Golgi; Hysteresis: Histéresis; Ia Sensory Fiber: Fibra Sensitiva Ia; MyoD: Abreviación en inglés para Proteína de Diferenciación Miogénica (Myoblast Determination Protein); Muscle Spindle: Hueso Neuromuscular; Pain Perception: Percepción del Dolor; Postsynaptic: Postsináptico; Polysomes mRNA; Polisomas de mRNA; Presynaptic: Presináptico; Stretching: Estiramiento; Tendon Compliance: “*Compliance*” del Tendón.

La principal teoría de adaptación fisiológica al estiramiento estático explica los mecanismos adaptativos involucrados del sistema nervioso en el aumento del ROM, conocida como teoría sensorial(21,48). En dicha teoría, se considera un predominante control periférico en la tolerancia a las fuerzas tensiles a través de la unidad miotendinosa, principalmente por una reducción en la excitabilidad del huso neuromuscular y la disminución aferente del órgano tendinoso de Golgi(49). Mediante la inhibición presináptica adaptativa al estiramiento de las fibras Ia y Ib, se reduce la estimulación contráctil postsináptica de las alfa motoneuronas, disminuyendo así la actividad tonal refleja del músculo en estiramiento(49). Esto permite que la persona tolere mayor cantidad de estiramiento sin precisamente sufrir cambios estructurales en el tejido musculoesquelético, lo que suele darse de manera aguda (<3 semanas)(1,50,51). Adicionalmente, se ha considerado una regulación central del tono muscular durante el estiramiento a través de la reducción del control cortical, sin embargo, los mecanismos no resultan claros y pareciera jugar un rol secundario frente a la regulación presináptica periférica(52).

La segunda teoría, menos reconocida y en constante investigación, considera los cambios morfoestructurales y biomecánicos a los que se ve sometido el sistema musculoesquelético posterior al estiramiento como respuesta crónica al estiramiento. El aumento en la flexibilidad y ROM que presenta una articulación posterior al estiramiento estático puede verse provocada por el aumento de los sarcómeros en serie, la disminución de la rigidez de los tejidos blandos adedanos y la deformación viscoelástica del tejido muscular posterior al estiramiento(24,48). Estudios realizados previamente en animales indican que el músculo esquelético es capaz de modificar el número de sarcómeros en serie, y por ende su longitud, para permitir una contracción muscular eficiente según el posicionamiento que presenten los sarcómeros, ya sea acortamiento o estiramiento(53). Este fenómeno se conoce como sarcomerogénesis, siendo una respuesta adaptativa del músculo-esquelético(50). Sin embargo, aún no existe claridad sobre la presencia de este fenómeno durante el estiramiento en humanos, principalmente por la disparidad en la intensidad, frecuencia y duración en que ha sido administrado el estiramiento estático en los protocolos de investigación, sugiriendo que la respuesta es tiempo-dependiente(54). Por otro lado, el tejido muscular esquelético al ser considerado como un tejido viscoelástico, su resistencia biomecánica a fuerzas tensiles comienza a declinar de manera gradual a la carga aplicada(24,55,56).

Este fenómeno de “relajación viscoelástica”, a causa de una fuerza de tensión, ocurre independientemente si el músculo se encuentre en un posicionamiento basal más “acortada” o “estirada”, ya que el cambio de longitud se produce por la mantención constante de la fuerza aplicada(21). El cambio de longitud provocado es momentáneo, restaurándose una vez que cesa el estiramiento(8,55).

Si bien, es reconocida la capacidad de mejorar el ROM y la flexibilidad del músculo esquelético, existe evidencia conflictiva sobre la influencia del estiramiento estático en la producción de fuerza(9,10). Si bien el estiramiento estático es un componente primordial tanto en la rehabilitación musculoesquelética como el acondicionamiento físico, se ha evidenciado que este puede disminuir la producción de fuerza muscular entre un 4,2 a 8% independiente del sexo, la edad o el nivel de condición física si es aplicado de manera previa a un programa de ejercicio físico(9). Simic *et al.* (2013),(57) condujeron un metaanálisis que concluyó que tiempos de aplicación del estiramiento estático superior a 60 segundos previo al ejercicio físico, provocaban una disminución del 5,4% y 1,9% en la fuerza y potencia muscular, respectivamente.

Mientras que es conocido el efecto agudo del estiramiento estático sobre la fuerza y potencia muscular, los efectos crónicos remanecen controversiales y poco aclaradores. Barbosa et al (2019)(58), evidenció una disminución significativa de la fuerza excéntrica de los músculos isquiotibiales posterior a 3 semanas de intervención de estiramiento estático frente a un grupo de estiramiento dinámico y control. Por otro lado, Arntz et al. (2023)(10) condujeron un metaanálisis sobre el efecto crónico del estiramiento estático sobre la fuerza y potencia muscular. Concluyeron que, en un tiempo promedio de 6 semanas de intervención se evidencia un efecto positivo pequeño sobre la fuerza muscular principalmente beneficiadas las poblaciones femeninas y de personas mayores(10).

Por tanto, es válido considerar otras modalidades de entrenamiento que sometan al músculo esquelético a una fuerza tensil de manera similar que el estiramiento estático, sin mermar y que incluso garanticen la ganancia y/o producción de fuerza muscular. En este sentido, es que el ejercicio excéntrico pareciera ser una opción plausible de considerar. Como el ejercicio excéntrico entrega un fuerte estímulo mecánico con un costo metabólico reducido, es una estrategia particularmente útil para el acondicionamiento físico o rehabilitación de sujetos con reducción en la fuerza muscular, movilidad y capacidad aeróbica(59).

h. ENTRENAMIENTO CON EJERCICIO EXCÉNTRICO

El ejercicio excéntrico se basa en el tipo de contracción muscular del mismo nombre, que ocurre cuando la musculatura genera un aumento en la tensión para controlar la velocidad en que son alargadas sus fibras musculares durante el ejercicio(60). Esta modalidad de contracción, y de ejercicio, se manifiesta cuando una fuerza externa aplicada sobre un músculo excede la fuerza que puede ejercer el mismo, resultando en un alargamiento de las fibras musculares(61). Las acciones excéntricas son importantes para el control del movimiento, como en la desaceleración o recepción de impactos(62). Su principal ventaja frente a la contracción concéntrica e isométrica es el almacenamiento de energía mecánica durante el alargamiento activo del músculo, la que es reutilizada en la siguiente contracción concéntrica(63). No solo la reutilización de la energía mecánica lo vuelve un tipo de contracción más eficiente, sino que requiere menor activación de unidades motoras, un menor gasto metabólico y menores respuestas cardiorrespiratorias al ejercicio(64). Sin embargo, la utilización de dicha energía es tiempo dependiente, por lo que se puede perder en forma de calor si no se realiza una contracción concéntrica a continuación(63).

Desde un punto de vista microscópico, el ejercicio excéntrico utiliza la capacidad elástica de la proteína sarcomérica titina como fuente mecánica de producción de fuerza. La proteína titina es un filamento largo que abarca la mitad del sarcómero entre la banda Z y la línea M (**Figura 2**), otorgando aproximadamente del 90 al 95% de la fuerza pasiva de las miofibrillas gracias a ser el mayor contribuidor al soporte estructural de los filamentos delgados(61,65). Su contribución a la fuerza pasiva del músculo se realiza mediante el aumento en el “*stiffness*” de la propia titina en presencia de calcio y, por tanto, presencia de acción muscular(66). La contracción excéntrica pone en tensión el anclaje del filamento actina a la titina, quien a su vez anclada a la banda Z del sarcómero, limita su expansión elástica por la tensión impuesta por la actina y la presencia de calcio, aumentando así el “*stiffness*” y la fuerza que es capaz de producir(66).

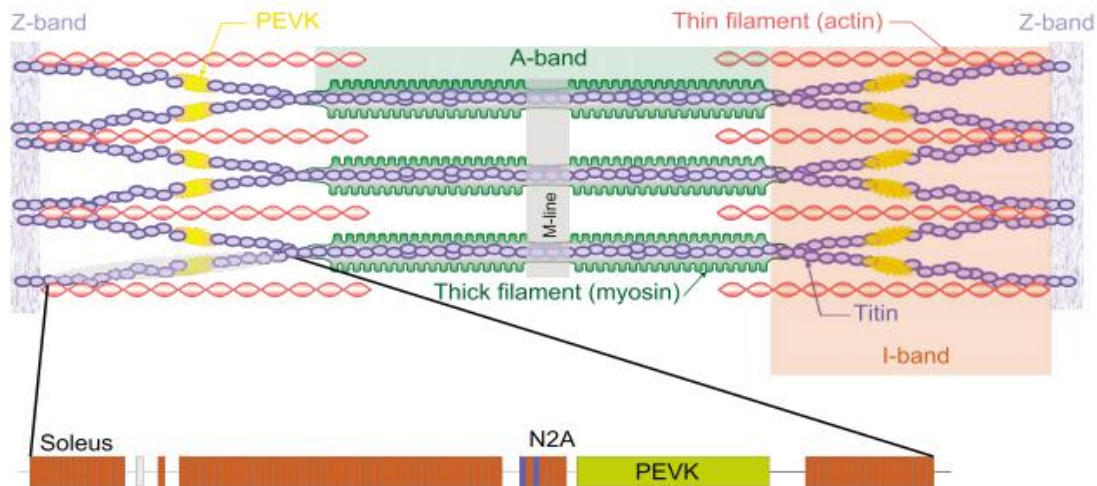


Figura 2. Representación esquemática del sarcómero con los filamentos de actina, de miosina, y el resorte molecular titina. Su contribución en la fuerza pasiva funciona de una manera contracción-dependiente y calcio-dependiente. Tomado sin autorización de Herzog W. (2014)⁶². En la imagen: A-Band: Banda A; I-Band: Banda I; M-line: Línea M; N2A: Secuencia única de la titina como posible sitio de acoplamiento con la proteína actina PEVK: Abreviación para “*Proline, Glutamate, Valine and Lysine-rich region*” de la proteína titina; Thin Filament (actin): Filamento delgado (actina); Thick Filament (myosin): Filamento grueso (miosina).

i. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS AL ENTRENAMIENTO CON EJERCICIO EXCÉNTRICO

Las respuestas adaptativas a este tipo de entrenamiento pueden verse de manera molecular o estructural. El ejercicio excéntrico induce un trauma muscular con la consiguiente activación de las células satélite y la respuesta reparativa de la vía de síntesis Akt-mTOR de proteínas musculares(67). Sin embargo, la combinación de los efectos de la tensión activa y pasiva de los elementos contráctiles, el contenido de colágeno dentro de la matriz extracelular y la titina, inducen una señal de síntesis proteica más potente que el ejercicio concéntrico(62,68). Se ha evidenciado un incremento del 31% en la activación del factor de crecimiento insulínico tipo I (IGF-1) y de la proteína p70 S6 kinasa (p70S6k) durante una contracción excéntrica máxima en las 2 hrs posteriores al ejercicio(68). Lo anterior, induce la hipertrofia del músculo esquelético

predominante en las fibras musculares tipo II intensidad-dependientes en una región específica del segmento distal, cercano a la unión miotendinosa(62).

El mayor cambio a nivel estructural es la disminución del ángulo de penación y aumento del largo del fascículo muscular(11,69,70). Timmins R et al. (2016)(70), demostraron que posterior a 6 semanas de ejercicio excéntrico máximo, el fascículo muscular de la cabeza larga del músculo bíceps femoral (en inglés, *Biceps Femoris Long Head*, abreviado BF_{LH}) incrementó aproximadamente un 16% mientras el ángulo de penación se redujo en un 7,5%. Bourne et al. (2017)(69), demostraron que el largo del fascículo muscular del BF_{LH} aumentó de 10,6 cm a 12,8 cm posterior a un programa de 10 semanas de entrenamiento excéntrico con el ejercicio de caída nórdica en sujetos jóvenes recreacionalmente activos. Estos hallazgos respaldan que el entrenamiento con ejercicio excéntrico es capaz de inducir adaptaciones en la estructura muscular posiblemente favorables para el aumento de la flexibilidad.

j. POTENCIAL DEL ENTRENAMIENTO CON EJERCICIO EXCÉNTRICO EN LA FLEXIBILIDAD MUSCULAR

Ya que el ejercicio excéntrico induce un cambio estructural en el músculo esquelético a diferencia del estiramiento estático de forma crónica, que favorece un cambio en la respuesta neuromuscular, es plausible preguntarse si dicho efecto es similar al inducido por el estiramiento. Esto potencialmente podría favorecer el aumento de la flexibilidad sin mermar la ganancia o producción de fuerza, e incluso beneficiando estas cualidades dentro del marco de programas de acondicionamiento físico, así como convertir las sesiones de rehabilitación como ejercicio físico en sesiones más tiempo-efectivas.

Hasta la fecha, existen dos estudios que han comparado directamente el entrenamiento con ejercicio excéntrico versus diferentes modalidades de estiramiento en la flexibilidad de músculos isquiotibiales. Hosseini et al., (2025)(71), compararon el efecto de 8 semanas de ejercicio excéntrico versus estiramiento dinámico sobre la flexibilidad, equilibrio, agilidad y rendimiento físico de los músculos isquiotibiales en futbolistas jóvenes de categoría amateur con acortamiento de isquiotibiales. Sus resultados indicaron que ambos grupos demostraron cambios similares en el aumento del grado de extensión de rodilla evaluado con el *KEA test* (Grupo Excéntrico:

16,16%; Grupo Estiramiento: 2,17%) y *Sit-and-Reach* test (Grupo Excéntrico: 11,33%; Grupo Estiramiento: 5,51%), siendo superiores los resultados obtenidos por el grupo de ejercicio excéntrico. Sin embargo, este estudio considera una población que realiza entrenamiento deportivo adicionalmente al programa de intervención, por lo que no se pueden extrapolar conclusiones del efecto neto del ejercicio excéntrico. Adicionalmente, no fueron considerados resultados relevantes a la hora de aplicar ejercicio excéntrico como la fuerza y arquitectura muscular.

Por otro lado, Russell N y William B. (2004),(16) sometieron a un programa de entrenamiento de 6 semanas para los músculos isquiotibiales a 81 sujetos entre 15 a 17 años, los cuales fueron divididos aleatoriamente en 3 grupos: un grupo de ejercicio excéntrico (n=24), otro grupo de estiramiento estático (n=21) y un grupo control (n=24). Todos los participantes presentaban “acortamiento” de isquiotibiales (un ángulo menor a 160° en el *KEA* test), sin antecedentes de lesiones musculoesqueléticas en la rodilla, muslo, cadera o zona lumbar un año previo el inicio de la intervención. Además, los participantes no debían comenzar un programa regular de ejercicio físico para el tronco o miembros inferiores durante el desarrollo del estudio y en el caso de ya ser parte de un programa de ejercicio físico, comprometerse a no aumentar la frecuencia o intensidad durante la duración del programa.

Los participantes del grupo excéntrico (Gex) realizaron un ejercicio para los músculos isquiotibiales de manera unilateral. Los participantes debían acostarse en supino y atar una banda elástica (*Theraband*) alrededor del tobillo en la extremidad inferior que se iba a trabajar mientras sostenían el otro extremo con las manos. Los participantes debían mantener la rodilla completamente extendida durante el ejercicio, el que consistía en elevar la extremidad inferior extendido utilizando el *Theraband* mientras que de manera simultánea debían resistir excéntricamente la flexión de cadera durante todo el ejercicio. Una vez alcanzada la flexión de cadera máxima por cada individuo, la posición debía mantenerse por 5 segundos y luego descender el miembro inferior con ayuda de las manos. El protocolo fue repetido 6 veces sin descanso entre repeticiones, sumando 30 segundos en total de estiramiento al final de las repeticiones¹⁴.

Por otro lado, el grupo de estiramiento estático (GEs) realizó un estiramiento de isquiotibiales por 30 segundos 3 veces a la semana por 3 semanas. Los participantes debían mantenerse erguidos

con uno de los miembros inferiores apoyados sobre una silla en frente de ellos. Con la rodilla completamente extendida debían flectar la cadera hasta sentir un estiramiento fuerte pero tolerable en los músculos isquiotibiales de la extremidad inferior adelantada. El grupo control no realizó ninguna intervención¹⁴.

Según el estudio, ambos grupos mejoraron de manera estadísticamente significativa la flexibilidad de los músculos isquiotibiales en comparación al grupo control, sin diferencias entre el grupo excéntrico y el grupo de estiramiento. Los valores iniciales de déficit en ambos grupos fueron $29,67 \pm 6,82^\circ$ para el GEx y $30,95 \pm 7,30^\circ$ para el GEs, los cuales posterior al entrenamiento se modificaron hasta $16,88 \pm 6,81^\circ$ para el GEx y $18,90 \pm 6,77^\circ$ para el GEs, por lo que el ejercicio excéntrico pareciera ser una alternativa con similares resultados para el aumento de la flexibilidad. Sin embargo, la elección y desarrollo del ejercicio considerado en el GEx en el estudio presentado hace dudar respecto a su ejecución, por la incorporación de un periodo de mantención en el rango terminal de flexibilidad, que coincide con la aplicación de un estiramiento estático. Además, el rango etario considerado es limitado para extrapolar los resultados a otras poblaciones.

En consecuencia, se sabe que mantener adecuados niveles de flexibilidad forma parte del desarrollo de las cualidades físicas, evitando que déficit en esta misma afecte en la incidencia de patologías de carácter musculoesquelético. En particular, los isquiotibiales han tomado relevancia desde que ha sido asociado la falta de flexibilidad como factor de riesgo para patologías musculoesqueléticas(72)(73). Se sabe que el estiramiento estático aumenta la flexibilidad muscular, pero ha demostrado efectos negativos sobre la fuerza(74). Es por esto, que el ejercicio excéntrico ha aparecido como una alternativa plausible al aumentar de manera simultánea la flexibilidad, la fuerza muscular y generar cambios en la arquitectura muscular. Sin embargo, a nuestro conocimiento, existe escasa evidencia que el ejercicio excéntrico demuestre mejores o similares resultados sobre la flexibilidad en comparación al estiramiento estático. Por esto, nace la pregunta de investigación que se presenta en el capítulo a continuación.

a. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Es el ejercicio excéntrico igual de efectivo que el estiramiento estático pasivo en aumentar la flexibilidad de los músculos isquiotibiales en sujetos inactivos físicamente sin afectar la fuerza muscular posterior a 6 semanas de intervención?

b. HIPÓTESIS

No existen diferencias significativas entre el ejercicio excéntrico y el estiramiento estático pasivo en el aumento de la flexibilidad de los músculos isquiotibiales, sin producir disminuciones en la fuerza muscular posterior a 6 semanas de intervención.

c. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

a. OBJETIVO GENERAL

Comparar la efectividad de un programa de 6 semanas de ejercicio excéntrico versus un programa de estiramiento estático pasivo versus no intervención en la flexibilidad de los músculos isquiotibiales en sujetos jóvenes inactivos físicamente.

b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la muestra según variables antropométricas, de flexibilidad muscular isquiotibial, fuerza máxima y arquitectura muscular de los músculos isquiotibiales posterior a un programa de 6 semanas de ejercicio excéntrico, estiramiento estático o no intervención según grupo de participantes.
- Comparar los resultados obtenidos por grupo de intervención (ejercicio excéntrico, estiramiento estático y control) sobre la flexibilidad muscular, la fuerza máxima y la arquitectura muscular del grupo muscular isquiotibial posterior a 6 semanas de intervención.

c. OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Comprobar la efectividad de ambas modalidades de intervención sobre la fuerza muscular isométrica máxima de los músculos isquiotibiales posterior a cada intervención de 6 semanas de duración.
- Evidenciar los cambios producidos en la arquitectura muscular (ángulo de penación, grosor muscular y largo del fascículo muscular) de los músculos isquiotibiales por grupo posterior a cada intervención de 6 semanas de duración.

d. MATERIALES Y MÉTODOS

i. DISEÑO DEL ESTUDIO

Se llevó a cabo un estudio exploratorio que cuenta con inscripción en ClinicalTrials (clinicaltrials.gov, NCT06469346) y aprobación del Comité de Ética Científico de la Universidad de La Frontera, Temuco, Chile (número de Folio del Proyecto UFRO N°089/24). En la **Figura 3**, se presenta un resumen esquemático del estudio:

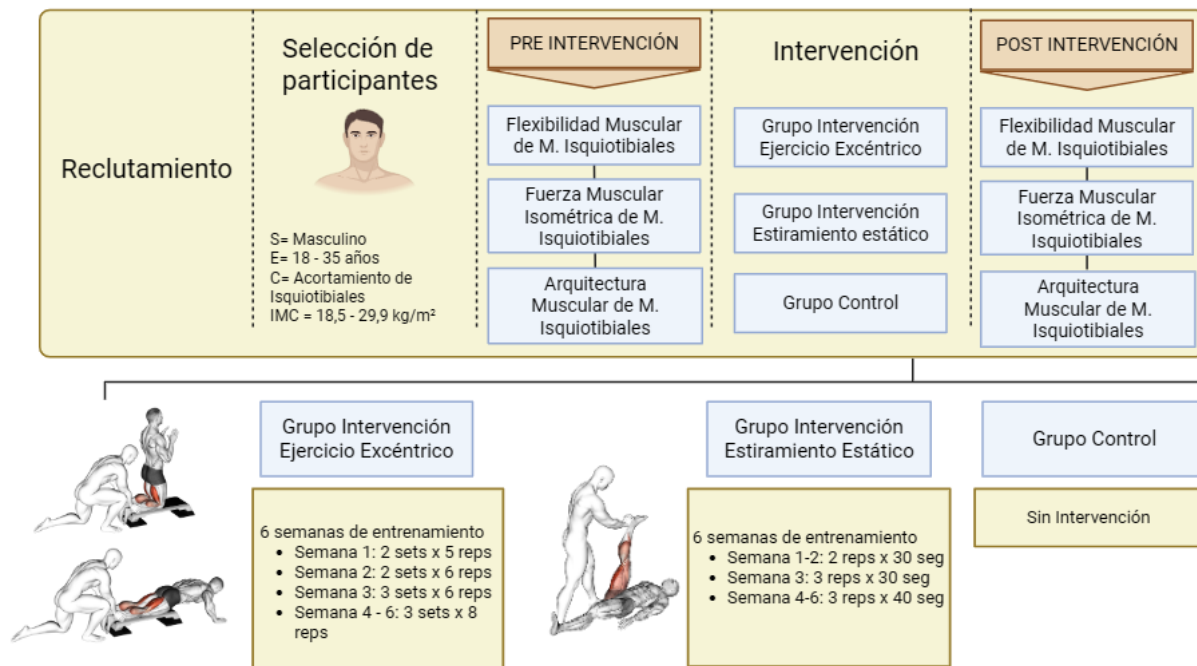


Figura 3. Diseño de Intervención del proyecto de investigación. N: Cantidad de participantes; S:

Sexo; E: Edad; C: Condición; M: Músculos; IMC; Índice de Masa Corporal; reps: repeticiones; seg: segundos.

ii. PARTICIPANTES DEL ESTUDIO

Los participantes de este estudio corresponden a individuos de sexo masculino entre los 18 y los 35 años. Los criterios de inclusión y exclusión se describen a continuación (ver **Tabla 1**). La naturaleza y los riesgos los procedimientos experimentales fueron explicados a cada participante y se obtuvo su consentimiento informado previo a cualquier participación.

El proceso de recolección de la muestra se realizó entre mayo y diciembre de 2025, mediante publicación por redes sociales, entrega de folletos y difusión boca a boca.

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión para el estudio.

Criterios de Inclusión
<ul style="list-style-type: none">- Individuos entre 18 a 35 años.- Ser inactivo físicamente, definido como el incumplimiento de las recomendaciones de actividad física entregadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS). El mínimo estipulado por la OMS corresponde a actividad física moderada durante al menos 150 a 300 minutos semanales, o bien, actividades aeróbicas intensas por 75 a 150 minutos, además de fortalecimiento muscular por un mínimo de 3 veces a la semana.- Presentar limitación en la flexibilidad de la musculatura isquiotibial bilateral, definido como un ángulo poplíteo menor o igual a 160° en el test de extensión de rodilla en posición supino (de sus siglas en inglés KEA).- Índice de Masa Corporal (IMC) Normal o Sobrepeso (entre 18,5 – 29,9 kg/m²).
Criterios de Exclusión
<ul style="list-style-type: none">- Historial de lesión musculoesquelética en miembros inferiores (que involucren la cadera, muslo y/o rodilla) o columna lumbar en los 12 meses previos al inicio del estudio.- Historial de lesión de isquiotibiales en cualquier momento del periodo de vida.- Consumo de suplementos alimenticios de carácter anabólico (concentrado y/o aislado de suero de leche, creatina, glutamina, ácidos grasos, etc.).- Sufrir condiciones musculoesqueléticas, cardiovasculares, respiratorias u otras que impidan realizar ejercicio físico de forma segura.- Haber participado de un programa de ejercicios estructurado en los últimos 6 meses previo al inicio del estudio.

e. PROCESO DE SELECCIÓN DE PARTICIPANTES

En una primera instancia, una vez los posibles participantes se hubieran contactado por los medios antes mencionados, se realizó un cribado de los criterios de inclusión y exclusión con el fin de evaluar la idoneidad para ser parte del estudio. Una vez confirmados los criterios de inclusión, se citó a cada participante a un día de evaluación, en el que primero se leyó y explicó el consentimiento informado obteniendo una firma de participación voluntaria previo a cualquier procedimiento. En esta evaluación, se solicitó que los participantes completasen un cuestionario de salud general sobre sus ámbitos de nutrición, historial de afecciones corporales, uso de medicamentos y/o suplementación y realización de exámenes imagenológicos en el último año. Posterior al cuestionario de salud, se realizó un conteo de los minutos de actividad física mediante el Cuestionario Internacional de Actividad Física (del inglés *International Physical Activity Questionnaire*, abreviado *IPAQ*), mientras se valoró la presión arterial mediante un monitor de presión arterial (Omron, HEM-7120, Japón) en el brazo izquierdo de cada participante. Luego, se evaluó el peso corporal, la estatura y se calculó el IMC, además de registrar medidas antropométricas como largo del muslo y pierna de la extremidad dominante.

Una vez finalizadas las evaluaciones anteriores, se realizaron las evaluaciones de carácter clínico. Se inició con la medición del nivel de flexibilidad de la cadena posterior mediante la prueba *Sit and Reach* en cajón, para lo cual los participantes realizaron tres intentos de la prueba registrando el mejor intento. Luego, se evaluó la prueba de Ángulo de Extensión de Rodilla en supino de manera bilateral utilizando un inclinómetro (Baseline AcuAngle, Japón). Posteriormente, se obtuvo una imagen ecográfica bilateral de la cabeza larga del músculo bíceps femoral en el tercio medio del muslo mediante ultrasonografía (Phillips Lumify L12-4, Países Bajos) para la medición de los parámetros de arquitectura muscular (ángulo de penetración, largo del fascículo y grosor musculares). Al final de la sesión de evaluación, se realizó la evaluación de la Fuerza Isométrica Máxima Voluntaria (FIMV) de los músculos isquiotibiales en ambos miembros de manera unilateral mediante una celda de carga (Sensortronics, Estados Unidos).

Cada participante se incluyó en el estudio en función del cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión. Todos los sujetos elegibles fueron asignados de manera aleatoria (www.randomizer.org) a uno de los tres grupos: grupo intervención de ejercicio excéntrico (EXC),

grupo intervención de estiramiento estático (EST) y grupo control (CON). Los participantes de los grupos EXC y EST fueron sometidos a un programa de intervención de 6 semanas de entrenamiento con ejercicio excéntrico y estiramiento estático de músculos isquiotibiales, respectivamente. Las sesiones fueron realizadas con una frecuencia de 3 veces por semana (lunes, miércoles y viernes). Los participantes asignados al grupo CON mantuvieron sus actividades habituales sin ninguna intervención.

Posterior a 6 semanas, se ejecutó la evaluación final en la que se estableció nuevamente una medición de los parámetros evaluados previamente manteniendo los mismos estándares.

i. INTERVENCIÓN FÍSICA DE LOS PARTICIPANTES

Dos días posteriores al término de las evaluaciones iniciales, se comenzó con los programas de entrenamiento de 6 semanas para ambos grupos de intervención, con una frecuencia de 3 veces por semana con 24 horas mínimas de descanso entre sesiones. Ambos grupos se vieron sometidos al siguiente protocolo de calentamiento:

- Cicloergómetro x 5 min con una carga de 50 watts y 60 ciclos por minuto.
- Ejercicios de Movilidad Articular que involucren las articulaciones de la cadera y rodilla de manera bilateral.

Posterior al protocolo de calentamiento, se diferencia la intervención por grupos como se detalla a continuación:

Grupo Intervención Entrenamiento con Ejercicio Excéntrico (EXC): Ejercicio “*Nordic Curl*” de fuerza excéntrica para los músculos isquiotibiales. Para realizar el ejercicio, los participantes se arrodillaron sobre una colchoneta manteniendo una posición inicial de 90° de flexión de rodilla y 0° de extensión de cadera. Una vez adoptada la posición, ambas piernas a nivel de los maléolos fueron sujetas por uno de los investigadores y las manos de los participantes se mantuvieron a los costados del tronco, pudiendo ubicarse en frente de este solamente para amortiguar la caída. Los participantes fueron instruidos en inclinarse hacia adelante y controlar la caída hacia el suelo en un promedio de 4-5 segundos (fase excéntrica) con una técnica adecuada y sin dolor hasta el máximo rango de movimiento disponible según lo indicado por Hosseini et al (2025)(71). Se instruyó a cada

participante que utilizara las manos y flectara la cadera para retornar a la posición inicial, minimizando la acción concéntrica de los isquiotibiales. La progresión en el ejercicio fue mediante la adición de repeticiones. El número total de sets y repeticiones para el ejercicio *Nordic Curl* se muestra a continuación:

- Semana 1: 2 sets x 5 repeticiones.
- Semana 2: 2 sets x 6 repeticiones.
- Semana 3: 3 sets x 6 repeticiones.
- Semana 4-6: 3 sets x 8 repeticiones.

Grupo Intervención Estiramiento Estático (EST): Ejercicio de estiramiento estático pasivo asistido de isquiotibiales. Para realizar el ejercicio, los participantes se recostaron en supino sobre una camilla. Uno de los investigadores manipula de forma pasiva la extremidad inferior a estirar a una posición de 90° de flexión de cadera y 90° de flexión de rodilla. Desde esta posición inicial, el investigador sostiene la pierna posterior a la altura de ambos maléolos extendiendo la rodilla de forma pasiva hasta que el participante indicara una sensación fuerte pero tolerable de estiramiento en los músculos isquiotibiales. Una vez realizado el procedimiento con una extremidad, se procedió con la extremidad contralateral dentro de la misma sesión. La progresión del ejercicio fue mediante un aumento en el tiempo de estiramiento como se muestra a continuación:

- Semana 1-2: 2 repeticiones de 30 segundos para cada extremidad.
- Semana 3: 3 repeticiones de 30 segundos para cada extremidad.
- Semana 4-6: 3 repeticiones de 40 segundos para cada extremidad.

Por razones inherentes a cada modalidad de intervención y la manera en que se cuantifica su progresión, para evitar diferencias en el trabajo realizado por cada uno de los grupos de intervención, el volumen de entrenamiento fue equiparado por tiempo bajo tensión. Según la evidencia disponible, la duración mínima de un programa de ejercicio excéntrico genera cambios en la flexibilidad y arquitectura muscular a partir de las 6 semanas, mientras que se pueden evidenciar cambios en la flexibilidad muscular a partir desde 3 semanas luego de un programa de estiramiento estático. Por tanto, se consideró el tiempo mínimo de ejercicio excéntrico para diseñar este plan de intervención(2,43)(69,70).

d. VARIABLES Y MEDICIONES DEL ESTUDIO

a. VARIABLES DE RESULTADO

i. FLEXIBILIDAD MUSCULAR

La flexibilidad muscular fue evaluada mediante un test específico (KEA test) y un test funcional (*Sit and Reach test*) para los músculos isquiotibiales.

Para realizar el KEA test, un evaluador fue instruido de seguir el protocolo descrito por Davis et al. (2008)(34): el individuo se ubicó recostado en supino con ambos miembros inferiores extendidos. El evaluador flectó la cadera a medir hasta 90°, manteniendo esta angulación mientras la rodilla ipsilateral es extendida pasivamente. La extremidad inferior contralateral es estabilizada en la superficie de apoyo mediante un velcro o huincha fijadora. Se describe el punto máximo de estiramiento si es que el evaluador percibe resistencia al movimiento o el participante declara una sensación fuerte, pero tolerable de estiramiento en la musculatura isquiotibial. Una vez alcanzado el punto terminal, con dos inclinómetros el evaluador midió el ángulo obtuso formado entre el fémur y la tibia, conocido como ángulo poplíteo (AP). Un valor de 160° o menos en el AP es considerado “acortamiento” de la musculatura isquiotibial(34). El mismo proceso se repite en la extremidad inferior contralateral.

Por otro lado, el *Sit and Reach Test* fue realizado con un cajón de medición que incluye una huincha métrica sobre este. El participante se sentó en el suelo con ambas rodillas completamente extendidas y los pies apoyados contra el cajón de medición, el que estuvo adecuado para que la superficie plantar de ambos pies sea cero. Luego, se le pidió al participante que realizara una flexión del tronco y caderas que le permitiera alcanzar el punto más lejano sobre la huincha métrica, manteniendo dicha posición por al menos 2 segundos. Se consideró el mejor registro de tres intentos separados de un minuto de descanso entre cada uno. Según lo descrito en la literatura, la distancia media para adultos jóvenes entre 20 a 29 años es 5 y 8 centímetros para hombres y mujeres, respectivamente(3), sin embargo, fue considerado como limitación en la cadena posterior un resultado menor a 0 cm (resultado en números negativos).

Para evitar errores en la medición y sesgo, ambas mediciones fueron realizadas por el mismo evaluador no involucrado en las sesiones de intervención, el que no tenía conocimiento del grupo

al que pertenecían los participantes. Estos datos fueron registrados y posteriormente enviados al investigador principal.

ii. FUERZA MUSCULAR DE LOS MÚSCULOS ISQUIOTIBIALES

La Fuerza Isométrica Voluntaria Máxima (FIVM) se evaluó en ambos miembros inferiores de manera unilateral siguiendo el protocolo establecido por Caparrós-Manosalva et al. (2023)(75), pero modificado para la evaluación de los músculos isquiotibiales según sugerencia del mismo autor. Antes de la evaluación, los participantes calentaron en una bicicleta estacionaria por 5 minutos con una carga de 50 watts a 60 RPM. Luego, el participante fue ubicado en una silla con el tronco completamente apoyado, las caderas flectadas en 80° y las rodillas en un ángulo de 60°. Un transductor de fuerza (Celda de Carga – 500lb. Sensortronics, Estados Unidos) fue utilizado para medir la FIVM durante la flexión de rodilla unilateral. Previo a la evaluación máxima, los participantes realizaron cuatro intentos de aproximación submáximos a una intensidad de contracción del 50%, 70%, 80% y 90% de su intensidad máxima auto percibida, manteniendo el intento durante 3 segundos con 1 minuto de descanso entre cada uno.

Los participantes fueron instruidos en realizar la flexión de rodilla isométrica máxima “lo más rápido posible” manteniendo la acción por 3 segundos en 3 intentos por cada extremidad inferior con un descanso de 30 segundos entre cada intento. Durante la ejecución de cada repetición, los participantes fueron verbalmente motivados a dar su mejor intento durante la prueba. La fuerza máxima fue obtenida según el valor más alto obtenido de los 3 intentos, registrando el valor en Newton (N).

Esta evaluación fue realizada por el investigador principal, manteniendo el mismo comando verbal con todos los participantes en los momentos de evaluación. Dado que es una evaluación mediante un software específico, dicho programa entregó los valores analizados eliminando posibles sesgos por parte del evaluador.

iii. ARQUITECTURA DE LA CABEZA LARGA DEL MÚSCULO BÍCEPS FEMORAL

Para la evaluación de la arquitectura muscular de la BF_{LH} bilateral se obtuvieron imágenes del eje longitudinal del vientre muscular mediante ultrasonografía portátil (Phillips Lumify L12-4, Países Bajos) utilizando un modelo 2D, B-Mode (frecuencia 12 MHz; profundidad 8 cm; ganancia de 70) según lo descrito por Bourne et al. (2017)(69). Los participantes fueron posicionados en prono en una camilla con sus caderas en posición neutra y rodillas completamente extendidas, utilizando como punto de referencia para la toma de imágenes el punto medio entre la tuberosidad isquiática y el pliegue de la articulación de la rodilla, paralelo a la orientación de los fascículos del BF_{LH}. Para asegurar la reproducibilidad de la evaluación entre los diferentes sujetos y entre los miembros inferiores de un participante, se incluyeron marcas utilizando puntos de referencia como la tuberosidad isquiática, la cabeza fibular y el punto medio entre el músculo Bíceps Femoral y el músculo Semitendinoso, además de referencias de imagen como las fascias pertenecientes a los músculos Vasto Lateral y Semitendinoso, y el Nervio Isquiático, inmediatamente inferior al Bíceps Femoral. Las mediciones fueron obtenidas luego de 5 minutos de reposo (69).

Las imágenes obtenidas fueron analizadas utilizando el programa ImageJ. Según lo descrito por Blazeovich et al. (2006)(37), 6 son los puntos referenciales (**Figura 4**) para la medición de los siguientes parámetros, adaptados para la medición del BF_{LH} (**Figura 5**):

- **Grosor Muscular (GM):** Distancia entre la aponeurosis superficial e intermedia del BF_{LH}.
- **Largo del Fascículo Muscular (LF):** Longitud del fascículo obtenido en imagen entre aponeurosis, expresado en centímetros. En el caso de que no sea observable la longitud completa del fascículo, esta puede ser estimada utilizando la ecuación descrita por Blazeovich J et al. (2006)(37):

$$LF = \sin(AA + 90^\circ) \times GM / \sin(180^\circ - (AA + 180^\circ - AP))$$

Donde AA: Ángulo de la Aponeurosis; GM: Grosor Muscular; AP: Ángulo de Penación.

Por último, todas las imágenes fueron cuantificadas por el mismo evaluador, quién se mantuvo como evaluador ciego durante la intervención realizada. Para procurar esto, se organizaron las imágenes mediante carpetas con números, siendo identificadas solo por el investigador principal,

de manera que el evaluador midiera los cambios en la arquitectura muscular sin reconocer el grupo de intervención o el tiempo de medición (pre o post intervención).

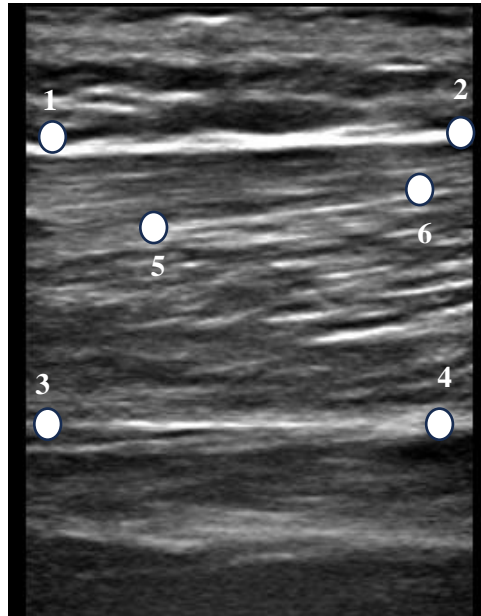


Figura 4. Marcas puntuales para la medición en la imagen ecográfica. Puntos 1-4 correspondientes a las aponeurosis superficial e intermedia; puntos 5-6 corresponden al fascículo muscular escogido para medición. El Grosor Muscular (GM) debe ser calculado como la media entre las distancias verticales de los puntos 1-3 y 2-4. El Ángulo del Fascículo, se calcula como el ángulo entre los puntos 2-4 y 5-6. El Ángulo de la Aponeurosis (AA) se calcula como el ángulo positivo entre los puntos 3-4 y 1-2. Imagen de elaboración propia.

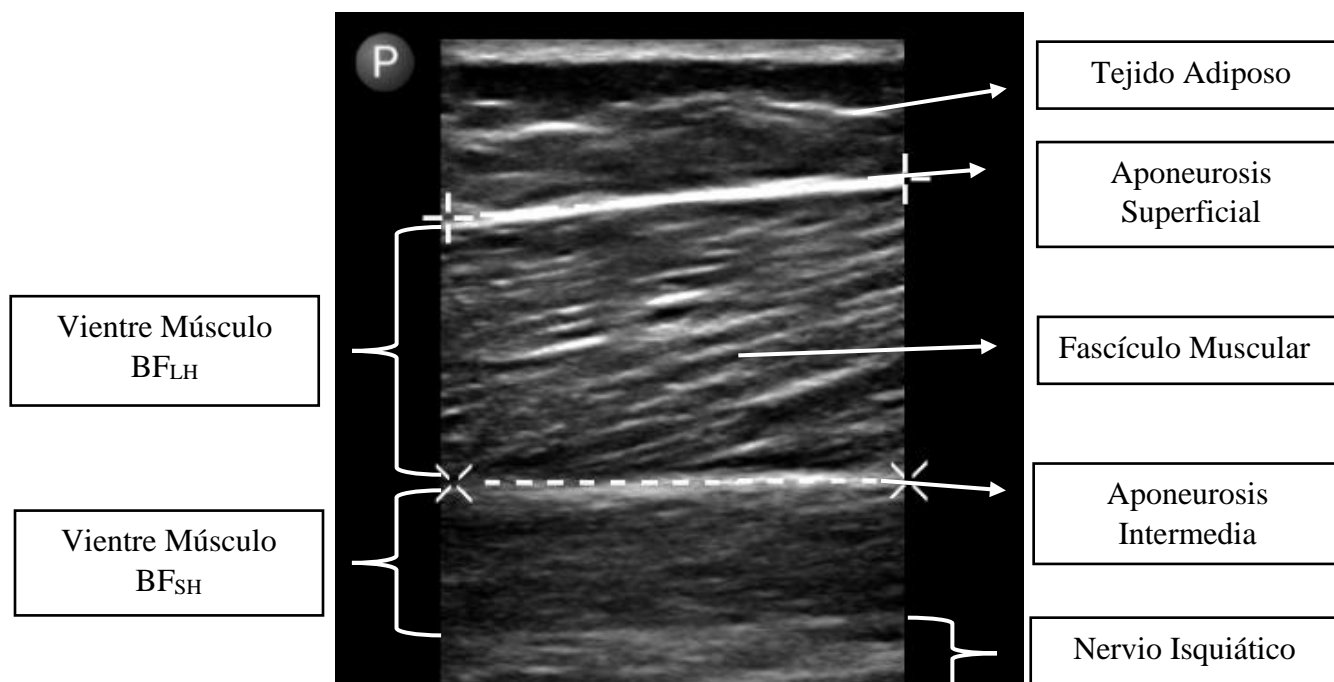


Figura 5: Imagen ecográfica 2D de la cabeza larga del músculo Bíceps Femoral (BF_{LH}) siguiendo las indicaciones de marcado puntual descrito por Blazeovich J et al., (2006)(37). BF_{LH}: Cabeza Larga del Músculo Bíceps Femoral; BF_{SH}: Cabeza Corta del Músculo Bíceps Femoral. Imagen de elaboración propia.

b. VARIABLES DE CONTROL

i. PESO CORPORAL

Se evaluó a través de una balanza digital (Tanita MC 980U plus, Estados Unidos). El participante se subió a la balanza con los pies descalzos y la menor cantidad de ropa posible, registrando el peso obtenido en kilogramos(76).

ii. ESTATURA

La talla del participante se midió mediante un tallímetro que incluye una huincha de medición (SECA 769, Madison, WI, Estados Unidos). Para esto, se le pidió al participante que se ubicara en posición bípeda, lo más erguido posible contra la huincha de medición manteniendo la cabeza en posición neutral, mientras el evaluador registraba la altura del individuo en metros(76).

iii. ÍNDICE DE MASA CORPORAL

Para la medición de esta variable se utilizaron la talla y el peso de cada participante obtenido previamente. Con estos dos parámetros se calcula el Índice de Masa Corporal (IMC) del participante dividiendo su peso expresado en kilogramos con la estatura elevada al cuadrado expresada en metros ($IMC = \frac{kg}{m^2}$). Este valor fue entregado por la balanza digital antropométrica con la que fue obtenido el peso.

iv. NIVEL DE ACTIVIDAD FÍSICA

El nivel de actividad física se registró a través del no cumplimiento de las recomendaciones otorgadas por la OMS. Estas recomendaciones fueron pesquiasadas mediante el registro de minutos de actividad utilizando el Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ) en el momento de la evaluación inicial. Esta información fue registrada por el mismo evaluador que realizó las mediciones de las características basales (peso, talla e IMC).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron tabulados en el programa Microsoft Excel y luego analizados en el programa estadístico SPSS versión 25.0 (SPSS, Chicago, IL) y los gráficos fueron confeccionados utilizando el programa GraphPad Prism V8.02 (GraphPad Software Inc. Estados Unidos). La distribución normal de los datos fue determinada con la prueba Shapiro Wilk. El análisis descriptivo de las características basales (Edad, Peso, Altura, IMC, Inactividad Física) de los participantes fue comparado entre grupos utilizando una prueba ANOVA de una vía. El análisis principal consistió en un ANOVA de dos vías considerando un factor tiempo (intragrupo/ PRE vs POST) y un factor grupo (EXC vs EST vs CON), analizando efectos principales e interacción. En el caso de encontrar una interacción (tiempo x grupo) significativa se realizó un ANOVA de una vía sobre los valores delta de cambio, con un post hoc de Bonferroni. Adicionalmente, se realizará el mismo análisis por porcentaje de cambio, el cual fue calculado PRE-POST. Se consideró el Eta cuadrado parcial (η^2) para determinar el tamaño del efecto. Valores de $\eta^2 = 0,01$ indican un tamaño del efecto pequeño, $\eta^2 = 0,06$ indica un tamaño del efecto medio y $\eta^2 = 0,14$ indica un tamaño del efecto grande(77). Todos los datos son presentados como medias \pm desviación estándar (SD). Se consideró un valor $p < 0,05$ para una diferencia significativa. De acuerdo con lo indicado por Cuyul et al. (2025),

resulta relevante comparar las respuestas de la intervención entre miembro inferior dominante y no dominante, ya que al menos un 30% de los individuos puede obtener mejores resultados en la extremidad no dominante (principalmente de fuerza muscular)(78).

RESULTADOS

a. CARACTERÍSTICAS BASALES

El flujograma de participantes se muestra en la **Figura 7**. Un total de 21 personas fueron consideradas siendo 5 personas excluidas del análisis final. Se consideraron solamente aquellos participantes que asistieron al 80% de las sesiones (14 de 18 sesiones) para el análisis subsecuente. Las características basales de los participantes se muestran en la **Tabla 2**. Las variables de peso, talla, estatura e IMC no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p > 0,05$).

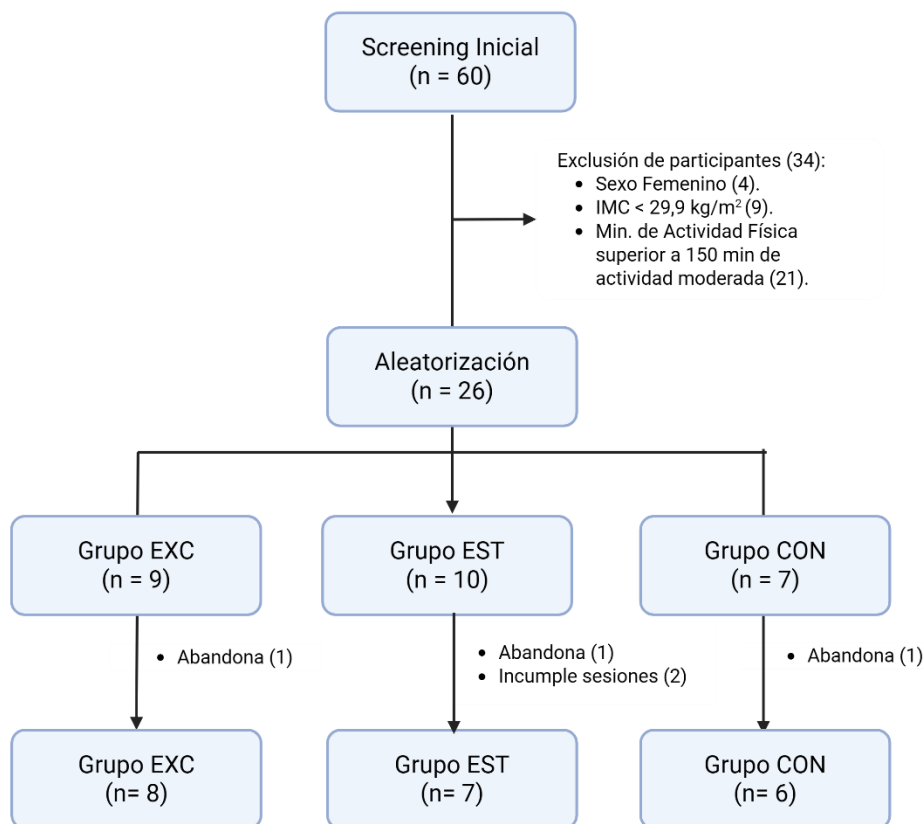


Figura 7. Flujograma de inclusión y distribución de los participantes del estudio. n = número de participantes. Los participantes del grupo EXC y CON abandonan voluntariamente el estudio,

mientras el participante que abandona el estudio del grupo EST abandona sin aviso. IMC: Índice de Masa Corporal; EXC: Grupo Excéntrico; EST: Grupo Estiramiento; CON: Grupo Control.

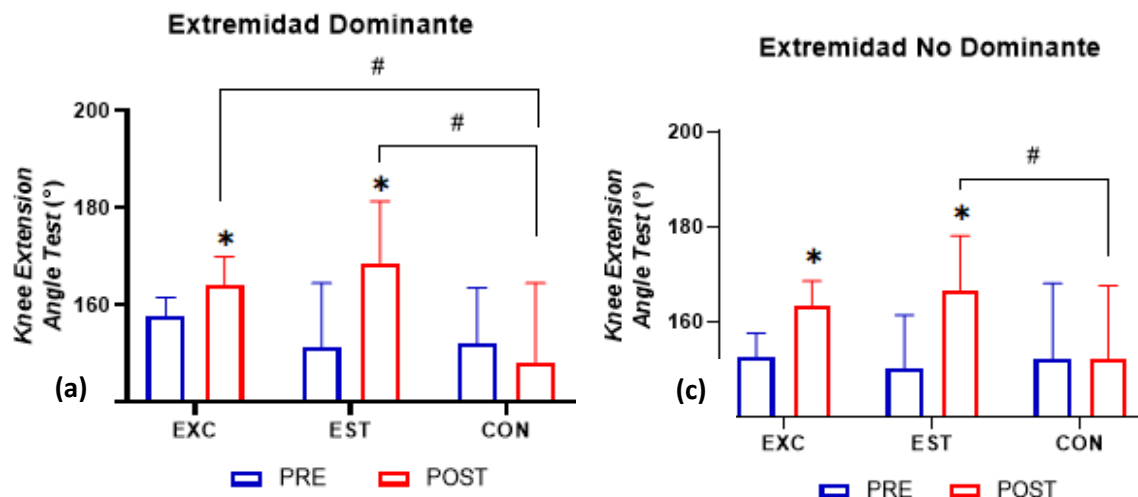
Tabla 2. Características Basales de los participantes

	EXC (n = 8)	EST (n = 7)	CON (n = 6)	Valor <i>p</i>
Edad (años)	22 ± 2	24 ± 3	22 ± 3	0,13
Peso (kg)	72,9 ± 9	72,7 ± 12	80,9 + 10	0,34
Altura (cm)	177,9 ± 5	174,3 ± 4	175,4 ± 5	0,28
IMC (kg/m²)	23,0 ± 3	23,9 ± 3	26,2 ± 3	0,17
Actividad Física (min)	32,5 ± 44	37,1 ± 45	54,1 ± 24	0,59

Kg: kilogramos; cm: centímetros; min; minutos; EXC, excéntrico; EST, estiramiento; CON, control; IMC, Índice de Masa Corporal.

b. FLEXIBILIDAD MUSCULAR DEL GRUPO ISQUIOTIBIAL

La flexibilidad no mostró diferencias significativas a nivel basal. El efecto de 6 semanas de ejercicio excéntrico y estiramiento estático en la flexibilidad sobre el *KEA test* y *Sit-and-Reach test* se muestran en la **Tabla 3**. El cambio mínimo detectable para el *KEA test* es de 3,4°, el que fue cumplido por 7 de los 8 individuos del grupo EXC (un individuo con solo 2° de cambio) y todos los individuos del grupo EST. Se observó una interacción (tiempo x grupo) significativa en ambas miembros inferiores en el KEA test (Dominante $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,53$; No Dominante $p = 0,007$, $\eta^2 = 0,42$). Al comparar los valores post intervención, se observaron diferencias entre los grupos EST vs. CON de la extremidad dominante (Dominante $p = 0,02$; No Dominante $p = 0,09$), pero no se



encontraron diferencias entre los grupos EXC vs. CON y grupos EXC vs. EST en ambos miembros inferiores (ambos $p > 0,05$). Al comparar el valor delta de cambio, no se evidenciaron diferencias entre grupos EXC vs. EST en la extremidad dominante ($p = 0,38$), pero sí entre grupos EXC vs. CON ($p = 0,02$) y EST vs. CON ($p = 0,001$). En la extremidad inferior no dominante, se evidenciaron diferencias entre grupos EST vs. CON ($p = 0,007$), pero no así entre EXC vs. CON ($p = 0,08$) y EXC vs. EST ($p = 0,64$) (**Figura 8**).

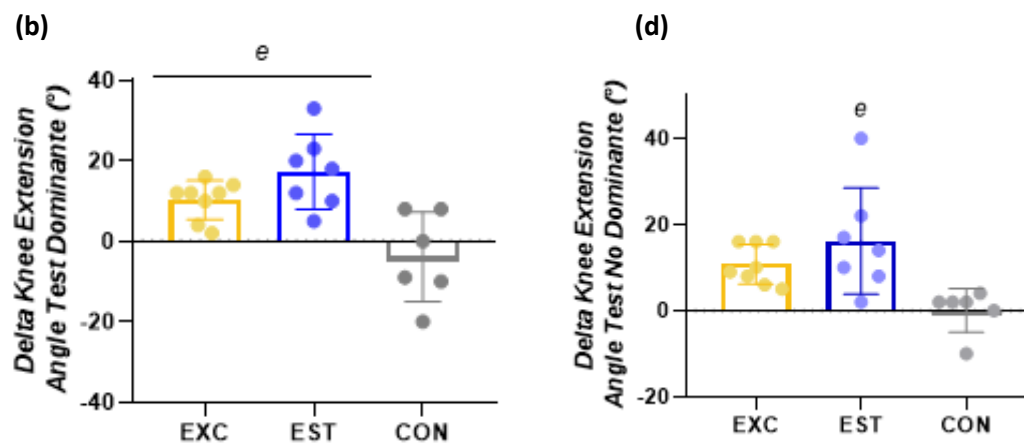


Figura 8. *Knee Extension Angle Test* medido en la extremidad dominante (a) y no dominante (b) antes y después de 6 semanas de entrenamiento, además de la media de cambio en la prueba en la extremidad dominante (b) y no dominante (d) en los grupos EXC, EST y <CON. Los datos fueron analizados utilizando un ANOVA de medidas repetidas observando una interacción (tiempo x grupo) significativa (a y c) y ANOVA de una vía (b y d). EXC: Excéntrico; EST: Estiramiento; CON: Concéntrico.

*Denota cambio significativo entre pre – post intervención intragrupo.

Denota cambio significativo post intervención entre grupos EXC vs. CON y EST vs. CON.

e Denota cambio significativo en valores delta entre grupos intervención (EXC – EST) y CON.

Por otro lado, no se evidenciaron diferencias entre grupos en los valores iniciales del *Sit-and-Reach test*. Se observó una interacción (tiempo x grupo) significativa ($p = 0,03$, $\eta^2 = 0,33$), sin diferencias entre grupos EXC, EST y CON ($p > 0,05$) (**Figura 9**).

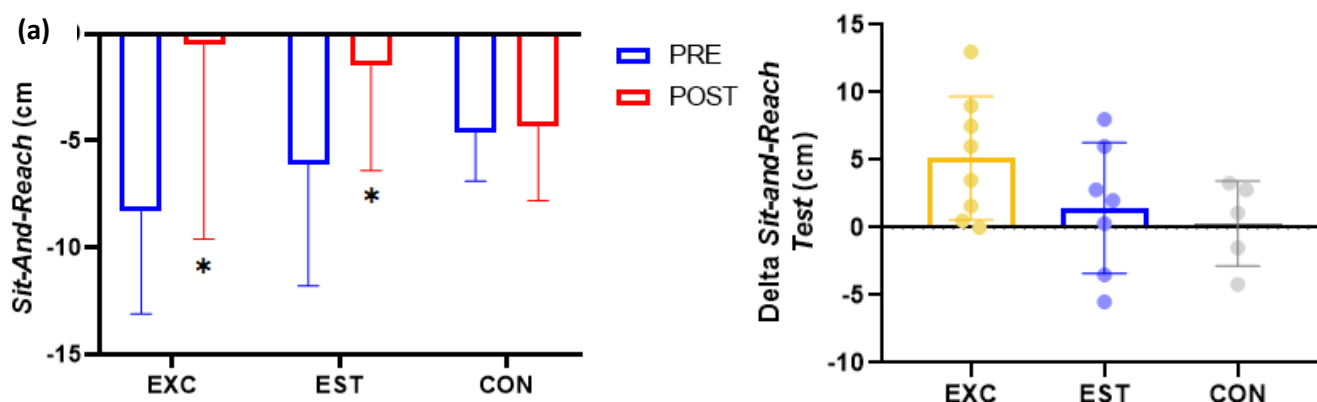


Figura 9. Cambio en la Sit-and-Reach medido antes y después de 6 semanas de entrenamiento (a), además de la media de cambio (b) en los grupos EXC, EST y CON. Los datos fueron analizados utilizando un ANOVA de medidas repetidas observando una interacción (tiempo x grupo) significativa (a) y ANOVA de una vía (b). EXC: Excéntrico; EST: Estiramiento; CON: Concéntrico.

*Denota cambio significativo entre pre – post intervención intragrupo.

c. FUERZA VOLUNTARIA ISOMÉTRICA MÁXIMA

No se evidenciaron diferencias entre los valores basales de fuerza voluntaria isométrica máxima de la extremidad dominante y no dominante entre grupos ($p > 0,05$, Tabla 3). Posterior al entrenamiento de 6 semanas, no se observó interacción (tiempo x grupo) significativa en ambos miembros inferiores, sin embargo, se evidenció un tamaño del efecto grande (Dominante $p = 0,32$, $\eta^2 = 0,12$; No Dominante $p = 0,07$, $\eta^2 = 0,25$). No hubo diferencias en el valor medio de cambio, a pesar de mostrar una tendencia hacia la significancia en la extremidad inferior no dominante (Dominante $p = 0,32$; No Dominante $p = 0,07$) (**Figura 10**).

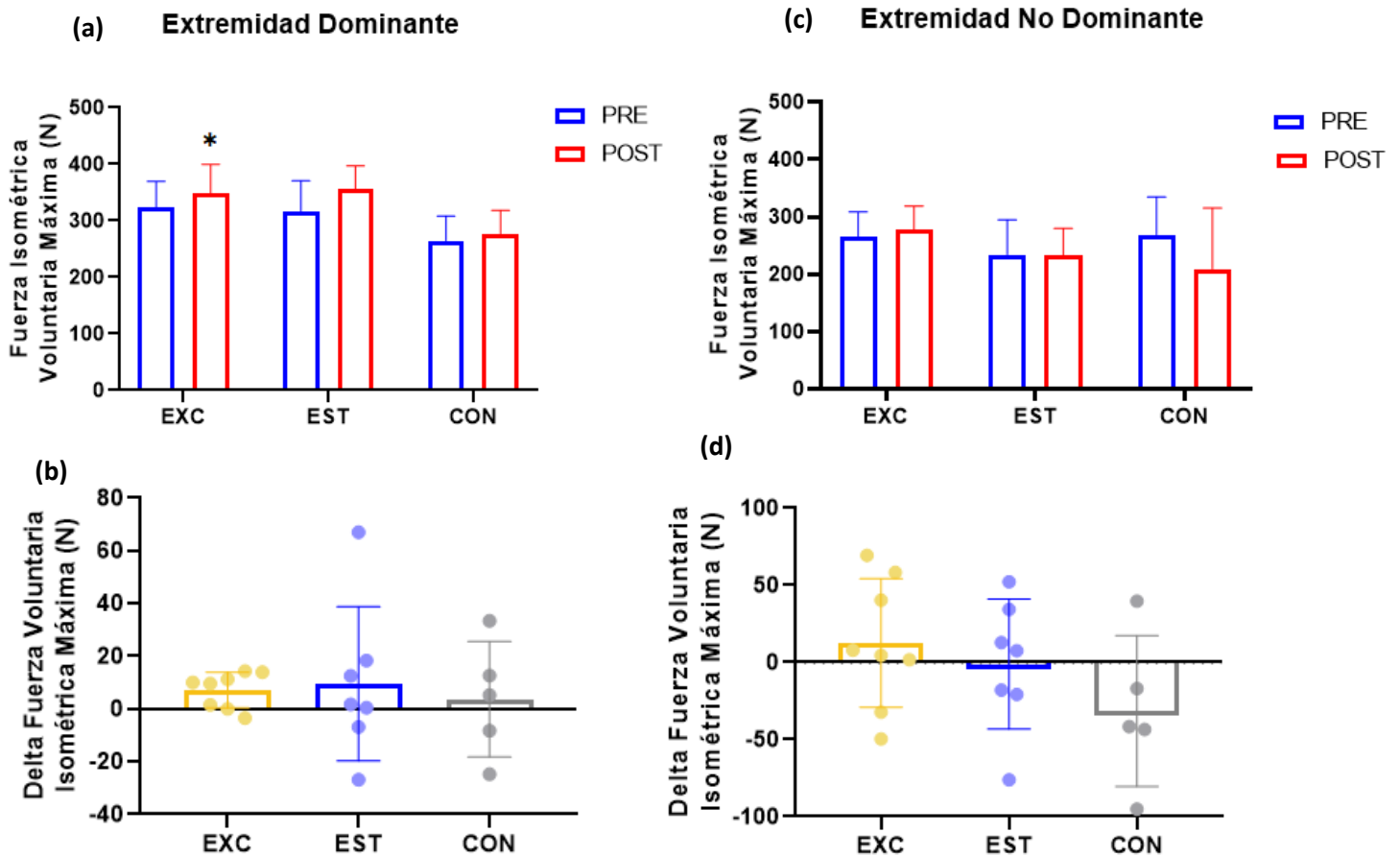


Figura 10. Fuerza Voluntaria Isométrica Máxima del grupo muscular isquiotibial medido en la extremidad dominante (a) y no dominante (b) antes y después de 6 semanas de entrenamiento, además de la media de cambio en la prueba en la extremidad dominante (b) y no dominante (d) en los grupos EXC, EST y CON. Los datos fueron analizados utilizando un ANOVA de medidas repetidas sin observación de interacción (tiempo x grupo) (a y c) y ANOVA de una vía (b y d). EXC: Excéntrico; EST: Estiramiento; CON: Concéntrico.

*Denota cambio estadísticamente significativo entre pre – post intervención.

d. ARQUITECTURA MUSCULAR DE LA CABEZA LARGA DEL MÚSCULO BÍCEPS FEMORAL

En el análisis de la arquitectura muscular (grosor muscular, ángulo de penación y largo del fascículo) no se observan diferencias significativas en los resultados basales o posterior a las 6 semanas de intervención ($p > 0,05$, **Tabla 4**).

Tabla 3. Valores de flexibilidad y fuerza muscular antes y después de 6 semanas de ejercicio excéntrico vs estiramiento estático.

Variable	EXC (n = 8)			EST (n = 6-7)			CON (n = 4-6)			ANOVA		
	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ	Tiempo/ η^2	Grupo/ η^2	Tiempo x Grupo/ η
Flexibilidad												
KEA test derecho (°)	153,7 ± 3,9	164,0 ± 5,9*	10,2	151,4 ± 13,1	168,7 ± 12,7*	17,2	152,0 ± 11,6	148,1 ± 16,4	-4	0,001/0,49	0,18/0,17	0,001/0,53
KEA test izquierdo (°)	152,6 ± 5,0	163,3 ± 5,2*	10,8	150,2 ± 11,2	166,4 ± 11,7*	16,1	152,0 ± 16,0	152,0 ±15,5	0	0,000/0,58	0,48/0,07	0,007/0,42
Sit-and-Reach (cm)	-8,3 ± 4,8	-0,5 ± 9,1*	5,1	-6,1 ± 5,7	-1,5 ± 4,9*	4,6	-4,6 ± 2,3	-4,3 ± 3,5	0,3	0,001/0,50	0,97/0,003	0,03/0,33
Fuerza Muscular												
FVIM derecha (N)	324,6 ± 45,5	347,7 ± 51,9*	23,1	317,1 ± 53,5	335,5 ± 41,3	18,4	328,6 ± 55,6 (5)	284,3 ± 146,5	-44,3	0,96/0,000	0,63/0,05	0,32/0,12
FVIM izquierda (N)	264,7 ± 43,5	277,2 ± 41,4	12,6	234,0 ± 61,1	232,9 ± 46,6	-1,1	268,7 ± 65,9 (5)	209,3 ± 106,1	-59,4	0,20/0,86	0,38/0,10	0,07/0,25

En la tabla: EXC: Grupo Excéntrico; EST: Grupo Estiramiento; CON: Grupo Control; °: grados; cm: centímetros; N: Newton; Δ: delta de cambio.

Tabla 4. Valores de Arquitectura Muscular antes y después de 6 semanas de ejercicio excéntrico vs estiramiento estático.

Variable	EXC (n = 8)			EST (n = 6-7)			CON (n = 4-6)			ANOVA		
	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ	Pre	Post	Δ	Tiempo/ η^2	Grupo/ η^2	Tiempo x Grupo/ η
<i>Arquitectura Muscular</i>												
<i>Largo del Fascículo BF_{LH} Derecho (mm)</i>	79,75 ± 5,51	92,30 ± 7,47	12,5	90,78 ± 6,47 (6)	107,79 ± 8,02	17	87,86 ±36,93 (4)	82,20 ± 23,08	-5,6	0,23/0,09	0,30/0,15	0,4/0,19
<i>Largo del Fascículo BF_{LH} Izquierdo (mm)</i>	80,41 ± 6,38	94,03 ± 6,82	13,6	77,55 ± 4,94 (6)	90,96 ± 9,7	13,4	77,43 ± 37,52 (4)	80,15 ± 17,62	2,7	0,16/0,12	0,70/0,46	0,79/0,03
<i>Ángulo de Penación BF_{LH} Derecho (°)</i>	12,65 ± 4,13	11,16 ± 1,17	-1,5	12,22 ± 1,35 (6)	10,08 ± 3,47	-3,7	11,58 ± 3,5 (4)	14,48 ± 3,08	0,8	0,77/0,006	0,65/0,55	0,09/0,27
<i>Ángulo de Penación BF_{LH} Izquierdo (°)</i>	13,89 ± 1,29	11,93 ± 1,07	-1,9	12,25 ± 1,47 (6)	13,51 ± 1,57	-0,4	14,12 ± 6,82 (4)	14,18 ± 3,8	-1,6	0,87/0,002	0,76/0,04	0,55/0,07
<i>Grosor Muscular BF_{LH} Derecho (mm)</i>	24,79 ± 1,43	25,55 ± 1,39	0,8	23,69 ± 4,78 (6)	22,00 ± 3,52	-4,8	23,42 ± 1,92 (4)	25,51 ± 7,5	-1,4	0,59/0,02	0,44/0,10	0,41/0,11
<i>Grosor Muscular BF_{LH} Izquierdo (mm)</i>	26,85 ± 2,51	26,09 ± 1,92	-0,7	24,79 ± 1,82 (6)	23,72 ± 1,26	-4,4	24,15 ± 5,71 (4)	26,41 ± 2,45	-2,4	0,90/0,001	0,67/0,05	0,54/0,08

En la tabla: EXC: Grupo Excéntrico; EST: Grupo Estiramiento; CON: Grupo Control; °: grados; mm: milímetros.

DISCUSIÓN

El propósito de la presente investigación fue comparar la efectividad de un programa de entrenamiento de ejercicio excéntrico versus un programa de estiramiento estático pasivo de 6 semanas de duración en la flexibilidad, fuerza y arquitectura muscular de los músculos isquiotibiales de individuos jóvenes inactivos físicamente. Mientras que no hubo variación en la flexibilidad del grupo control (CON) a lo largo de 6 semanas, los resultados indican que tanto el ejercicio excéntrico como el estiramiento estático constituyen estrategias efectivas para mejorar la flexibilidad de los músculos isquiotibiales en esta población. En este sentido, se cumple la hipótesis de que ambas intervenciones (EXC y EST) son efectivas para aumentar la flexibilidad muscular de los isquiotibiales frente a no intervención (grupo CON) sin diferencias significativas entre ellas). En relación con la fuerza muscular, solo se observó un aumento significativo en la fuerza máxima de la extremidad dominante en el grupo excéntrico (EXC), pero no así en la extremidad no dominante ni en los grupos estiramiento (EST) y CON, lo que se tradujo en una interacción no significativa. Finalmente, sobre la arquitectura muscular, el largo del fascículo y el ángulo de penetración de ambos miembros inferiores de los grupos EXC y EST evidenciaron un aumento en su longitud y disminución en el ángulo respectivamente. Sin embargo, no se observó una interacción (tiempo x grupo) significativa en respuesta a las intervenciones de entrenamiento excéntrico y estiramiento estático. Es importante recalcar que debido al carácter exploratorio del estudio, no es posible establecer conclusiones definitivas a partir de los resultados, y posibles interpretaciones deben realizarse con cautela.

El entrenamiento de fuerza, y en particular el entrenamiento con ejercicio excéntrico, ha mostrado efectos beneficiosos sobre el rango de movimiento y la flexibilidad(15). En concordancia con lo anterior, el presente estudio muestra que 6 semanas de entrenamiento con ejercicio excéntrico aumentan de manera efectiva la flexibilidad de los músculos isquiotibiales. El cambio mínimamente detectable para el *KEA test* es de 3.4° cuando se utiliza un inclinómetro(79), valor que fue superado en la medición posterior a la intervención por ambos grupos de intervención (EXC y EST). El aumento promedio entre miembros inferiores de $10,5^{\circ}$ en el grupo EXC y $15,2^{\circ}$ en el grupo EST presentan resultados similares a los reportados por estudios previos. En este sentido, Nelson y Bandy (2004), evidenciaron un aumento de extensión pasiva de rodilla de $12,79^{\circ} \pm 5,7$ y $12,05^{\circ} \pm 6,9$ posterior a 6 semanas de entrenamiento excéntrico y estiramiento estático,

respectivamente(16). Potier et al., (2009) reportaron un aumento de 7° en el KEA test luego de 8 semanas de entrenamiento con ejercicio excéntrico.(80) Desde una perspectiva clínica, estos resultados sugieren que tanto el entrenamiento excéntrico como el estiramiento estático pueden ser estrategias válidas para mejorar la flexibilidad de los músculos isquiotibiales, sin evidenciarse diferencias clínicas entre ambas intervenciones.

Respecto al *Sit-and-Reach test*, la literatura reporta que el valor promedio para hombres entre 20 y 29 años es de 5 cm(81), mientras que valores inferiores a cero indican una limitación en la flexibilidad de la cadena posterior. Hasta la fecha, no se ha establecido el cambio mínimo clínicamente detectable para este test en personas jóvenes (20-30 años). Si bien, ambas modalidades de intervención evidenciaron mejoras significativas tras el periodo de intervención, los resultados no superaron el punto de corte utilizado para determinar un acortamiento de la cadena posterior. Esto puede ser debido a factores neurales – como el aumento de la tensión del nervio isquiático por el posicionamiento durante la ejecución del test - y mecánicos, tales como un déficit en la rotación pélvica y extensibilidad lumbar(82). En este contexto, se refuerza la importancia de emplear el *Sit-and-Reach test* como una evaluación complementaria del *KEA test* en la pesquisa del acortamiento de los músculos isquiotibiales.

Previas investigaciones sugieren que el estiramiento estático prolongado (>60 seg) podría mermar agudamente (dentro de una misma sesión o en un tiempo inferior a 3 semanas) la producción de fuerza y potencia muscular(9,83). No obstante, contrario a lo que se sostuvo durante años, revisiones sistemáticas recientes con metaanálisis han reportado un pequeño efecto positivo del estiramiento estático crónico (6 semanas) en sujetos sanos(10). En este estudio, los miembros inferiores presentaron un comportamiento diferente en el grupo de estiramiento, donde la extremidad dominante presentó un aumento en la FVIM, mientras que la extremidad no dominante no presentó variación (Dominante $\Delta = 18,4$; No dominante $\Delta = -1,1$), es decir, no se disminuyó la fuerza muscular posterior a 6 semanas de intervención. Esta respuesta asimétrica entre miembros inferiores no logra ser explicada por los mecanismos subyacentes que influyen a la fuerza muscular posterior a un entrenamiento de estiramiento estático crónico, ya que estos mecanismos no se encuentran completamente dilucidados. Acorde a la literatura, durante las semanas iniciales de entrenamiento de fuerza (4-6 semanas), las mejoras en la fuerza muscular se atribuyen por adaptaciones neuromotoras sin cambios sustanciales en el grosor muscular.(84) Esto puede explicar

el aumento de la FVIM en el grupo excéntrico sin cambios favorables en el grosor muscular. Así mismo, es posible que en sujetos inactivos físicamente se requiera un protocolo de intervención de mayor duración (>6-8 semanas) al aplicado en este estudio, considerando que investigaciones previas que reportan incrementos significativos de la fuerza incluyen poblaciones recreacionalmente activas(14,69,70).

No es posible concluir de manera definitiva el efecto del entrenamiento excéntrico sobre la arquitectura muscular de la cabeza larga del músculo Bíceps Femoral. Sin embargo, los resultados muestran un comportamiento similar a lo reportado por otros investigadores. Bourne et al., (2017)(69) observaron un aumento de 15 mm en la longitud del fascículo de la cabeza larga del músculo bíceps femoral tras 5 semanas de ejercicio nórdico en sujetos recreacionalmente activos, en comparación con los incrementos de 12,5 y 13,6 mm observados en este proyecto. De forma concordante, Potier et al., (2009) evidenciaron un aumento significativo del largo del fascículo de 59 ± 3 mm a $78,8 \pm 3,5$ mm (≈ 19 mm) luego de 8 semanas de entrenamiento excéntrico. Por otro lado, Blazevich et al., (2006) no reportaron diferencias en la arquitectura muscular (largo del fascículo, ángulo de penación y grosor muscular) tras 2,5 y 5 semanas de entrenamiento unilateral de extensión de rodilla en un dinamómetro isocinético, a pesar de observarse incrementos en el torque excéntrico en sujetos recreacionalmente activos.(85) En la misma línea, Timmins et al., (2016) reportaron una disminución no significativa del ángulo de penación del 7,5% (valores reportados entre $0,8 - 1,2^\circ$ de disminución) posterior a 6 semanas de entrenamiento excéntrico en dinamómetro isocinético. Estos hallazgos sugieren la existencia de una relación dependiente del tiempo de exposición que influye en las adaptaciones de la arquitectura muscular. Por tanto, futuras investigaciones podrían considerar protocolos de intervención de diferente duración (por ejemplo, 4, 6, 8 – 12 semanas) para identificar en qué punto se generan cambios morfoestructurales significativos.

A pesar de la falta de cambios significativos en la arquitectura muscular, el aumento del largo del fascículo observado en este estudio sugiere la adición de sarcómeros en serie en la estructura muscular como ha sido mencionado por otros autores, y podría explicar el aumento de la flexibilidad en el *KEA test*(11,86). Según la investigación descriptiva conducida por Woodley y Mercer (2005), la aponeurosis superficial e intermedia del músculo Bíceps Femoral, aunque recorren una gran porción del músculo, no se extienden de manera continua entre las inserciones

distal y proximal, estando únicamente conectadas por los fascículos musculares(87). A raíz de esto, un aumento breve de la longitud del fascículo podría, al menos teóricamente, incrementar la distancia entre aponeurosis y, por consiguiente, contribuir a la extensibilidad del tejido muscular.

a. **LIMITACIONES DEL ESTUDIO**

El carácter exploratorio del estudio limita la interpretación y generalización de los resultados, por lo que es relevante considerar una muestra más amplia para obtener conclusiones más relevantes. Así mismo, los efectos potencialmente relevantes podrían no haber alcanzado significancia estadística. Debido a que los sujetos eran inactivos físicamente, la falta de cambios significativos en los parámetros de arquitectura muscular puede deberse a adaptaciones neuromusculares durante la intervención, por lo que es necesario tiempos de seguimiento de mayor plazo. La medición de la arquitectura muscular no incluyó los demás músculos flexores de rodilla (Músculos Semimembranoso y Semitendinoso), siendo desconocido el efecto de esta intervención en dicho grupo muscular. Además, la formula utilizada para la medición indirecta del largo del fascículo muscular ha sido originalmente descrita para el largo del fascículo y ángulo de penación para el músculo vasto medial, a pesar de utilizada por otros autores para la medición de la arquitectura muscular en los músculos isquiotibiales. La medición de ultrasonografía con un ecógrafo portátil limita el rango de obtención de imagen, obteniendo solamente una imagen estacionaria del vientre muscular. Se ha mencionado que la ultrasonografía panorámica que logra medir en su totalidad al grupo muscular sería la estrategia más adecuada. Por otro lado, no se incluyeron mujeres en este estudio lo que limita la obtención de la muestra de participantes.

CONCLUSIÓN

El entrenamiento con ejercicio excéntrico y el estiramiento estático son estrategias efectivas para mejorar la flexibilidad de los músculos isquiotibiales de sujetos inactivos físicamente, sin evidenciarse diferencias significativas entre ambas intervenciones. El entrenamiento con ejercicio excéntrico mostró además un efecto positivo en la fuerza muscular de la extremidad inferior dominante. Aunque los resultados sobre la arquitectura muscular deben tomarse con cautela debido

al carácter exploratorio de este estudio, los cambios en la longitud del fascículo y ángulo de penetración de la cabeza larga del músculo Bíceps Femoral podrían vincularse a los cambios funcionales observados en el *KEA test* y *Sit-and-Reach test*. Estos resultados aportan evidencia relevante para la toma de decisiones clínicas respecto al tratamiento de la flexibilidad.

REFERENCIAS

1. Gleim GW, McHugh MP. Flexibility and its effects on sports injury and performance. *Sports Medicine*. 1997;24(5):289–99. doi:10.2165/00007256-199724050-00001 PubMed PMID: 9368275.
2. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, et al. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(7):1334–59. doi:10.1249/MSS.0b013e318213febf PubMed PMID: 21694556.
3. Liguori, Gary; Feito, Yuri; Fountaine, Charles; Roy BA. *MANUAL ACSM Para la valoración y prescripción del ejercicio*. 2021. 871 p.
4. Wilk KE, Macrina LC, Fleisig GS, Aune KT, Porterfield RA, Harker P, et al. Deficits in Glenohumeral Passive Range of Motion Increase Risk of Shoulder Injury in Professional Baseball Pitchers. *American Journal of Sports Medicine*. 2015;43(10):2379–85. doi:10.1177/0363546515594380 PubMed PMID: 26272516.
5. Escudeiro D, Duarte Junior A, Gabriel Betoni Guglielmetti L, Baches Jorge P. Association Between ACL Injury and Restricted Hip Range of Motion Among Athletes: A Case Control Study. 2020;1–9.
6. Quelard B, Sonnery-Cottet B, Zayni R, Ogassawara R, Prost T, Chambat P. Preoperative factors correlating with prolonged range of motion deficit after anterior cruciate ligament reconstruction. *American Journal of Sports Medicine*. 2010;38(10):2034–9. doi:10.1177/0363546510370198 PubMed PMID: 20702861.
7. Green B, Bourne MN, Van Dyk N, Pizzari T. Recalibrating the risk of hamstring strain injury (HSI): A 2020 systematic review and meta-Analysis of risk factors for index and recurrent hamstring strain injury in sport. *Br J Sports Med*. 2020;54(18):1081–8. doi:10.1136/bjsports-2019-100983 PubMed PMID: 32299793.
8. Weppler CH, Magnusson SP, Turgut E, Duzgun I, Baltaci G, Decoster LC, et al. The acute benefits and risks of passive stretching to the point of pain. *Eur J Appl Physiol*. 2014;117(1):1713–25. PubMed PMID: 26347668.
9. Chaabene H, Behm DG, Negra Y, Granacher U. Acute Effects of Static Stretching on Muscle Strength and Power: An Attempt to Clarify Previous Caveats. *Front Physiol*. 2019;10(November). doi:10.3389/fphys.2019.01468 PubMed PMID: 31849713.
10. Arntz F, Markov A, Behm DG, Behrens M, Negra Y, Nakamura M, et al. Chronic Effects of Static Stretching Exercises on Muscle Strength and Power in Healthy Individuals Across the Lifespan: A Systematic Review with Multi-level Meta-analysis. *Sports Medicine*. 2023;53(3):723–45. doi:10.1007/s40279-022-01806-9 PubMed PMID: 36719536.
11. Blazeovich AJ, Cannavan D, Coleman DR, Horne S. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *J Appl Physiol*. 2007;103(5):1565–75. doi:10.1152/jappphysiol.00578.2007 PubMed PMID: 17717119.

12. Afonso J, Moscão J, Rocha T, Zacca R, Martins A, Milheiro A, et al. Strength training is as effective as stretching or improving range of motion: A systematic review and meta-analysis. *metaArXiv*. 2021;1–52. doi:10.37766/inplasy2020.9.0098.2.2.
13. Morton SK, Whitehead JR, Brinkert RH, Caine DJ. Resistance training vs. static stretching: Effects on flexibility and strength. *J Strength Cond Res*. 2011;25(12):3391–8. doi:10.1519/JSC.0b013e31821624aa PubMed PMID: 21969080.
14. Timmins RG, Ruddy JD, Presland J, Maniar N, Shield AJ, Williams MD, et al. Effects of eccentric training at long-muscle length on architectural and functional characteristics of the hamstrings. *Scand J Med Sci Sports*. 2020;30(11):2130–42. doi:10.1111/sms.13770 PubMed PMID: 32706442.
15. Diong J, Carden PC, O’Sullivan K, Sherrington C, Reed DS. Eccentric exercise improves joint flexibility in adults: A systematic review update and meta-analysis. *Musculoskelet Sci Pract*. 2022;60(July 2021):102556. doi:10.1016/j.msksp.2022.102556 PubMed PMID: 35390669.
16. Nelson RT, Bandy WD. Eccentric training and static stretching improve hamstring flexibility of high school males. *J Athl Train*. 2004;39(3):254–8. PubMed PMID: 15496995.
17. Thomas E, Bianco A, Paoli A, Palma A. Thomas E et al. The Relation Between Stretching ... *Int J Sports Med*. *J Sports Medicine*. 2018.
18. Bandy WD, Irion JM, Briggler M. The effect of time and frequency of static stretching on flexibility of the hamstring muscles. *Phys Ther*. 1997;77(10):1090–6. doi:10.1093/ptj/77.10.1090 PubMed PMID: 9327823.
19. Peña Ayala LE, Gómez Bull KG, VargasSalgado MM, Mejía GI, Máynez Guaderrama AI. Determination of Range of Motion for Upper Limbs in a Sample of Mexican University Students. *Revista Ciencias de la Salud*. 2018;16(Special Issue):64–73. doi:10.12804/revistas.urosario.edu.co/revsalud/a.6845
20. Ho CC, Lee PF, Xu S, Hung CT, Su YJ, Lin CF, et al. Associations between cigarette smoking status and health-related physical fitness performance in male Taiwanese adults. *Front Public Health*. 2022;10. doi:10.3389/fpubh.2022.880572 PubMed PMID: 36062134.
21. Weppler CH, Magnusson SP. Increasing muscle extensibility: A matter of increasing length or modifying sensation? *Phys Ther*. 2010;90(3):438–49. doi:10.2522/ptj.20090012 PubMed PMID: 20075147.
22. Shorten MR. Muscle Elasticity and Human Performance. Vol. 25. 2015;25:1–18. doi:10.1159/000414393
23. Thys H, Faraggiana T, Margaria R. Utilization of muscle elasticity in exercise. *J Appl Physiol*. 1972;(April 1972):6–9.
24. Weppler CH, Magnusson SP. Increasing muscle extensibility: A matter of increasing length or modifying sensation? *Phys Ther*. 2010;90(3):438–49. doi:10.2522/ptj.20090012 PubMed PMID: 20075147.
25. Jabbar M, Mustansar A, Zulfiqar F, Ayub T, Latif W. Prevalence Of Hamstring Tightness Due To Prolonged Sitting Among Administrative Staff: Cross Sectional Study. Vol. 15. 2021;15(3):1115–7.

26. Fatima G, Qamar MM, Basharat A. Extended sitting can cause hamstring tightness. 2017;(January). doi:10.4103/sjms.sjms
27. Alston W, Carlson KE, Feldman DJ, Grimm Z, Gerontinos E. A quantitative study of muscle factors in the chronic low back syndrome. Vol. 14. 1966;14:1041–7.
28. Erickson LN, Sherry MA. Rehabilitation and return to sport after hamstring strain injury. *J Sport Health Sci.* 2017;6(3):262–70. doi:10.1016/j.jshs.2017.04.001
29. Timmins RG, Filopoulos D, Nguyen V, Giannakis J, Ruddy JD, Hickey JT, et al. Sprinting, Strength, and Architectural Adaptations Following Hamstring Training in Australian Footballers. *Scand J Med Sci Sports.* 2021;31(6):1276–89. doi:10.1111/sms.13941 PubMed PMID: 33617061.
30. Hollman JH, Harmsen WS, Laskowski E. The Influence of Gender and Age on Hamstring Muscle Length in Healthy Adults.
31. Palmer, M. & Epler M. Fundamento de las Técnicas de evaluación Musculoesquelética - Palmer Epler.pdf. 2002. p. 434.
32. Gajdosik RL, Bohannon RW. Clinical Measurement of Range of Motion. *Phys Ther.* 1987;67(12):1867–72. doi:10.1093/ptj/67.12.1867
33. Claudio GS de A. Flexitest: El metodo de evaluación de la flexibilidad. Flexitest: El metodo de evaluación de la flexibilidad. 2005.
34. DAVIS D. SCOTT, QUINN RICH O., T. WC, D. WJ, YOUNG COREY R. Concurrent Validity of Four Clinical Tests Used To Measure Hamstring Flexibility. *J Strength Cond Res.* 2008;22(2):583–8.
35. Lusin G. Hamstring Muscle Tightness Reliability of an Active-Knee-Extension Test. Vol. 63. 1983;63(7):1085–8.
36. Rikli RE, Jones CJ. Development and validation of a functional fitness test for community-residing older adults. *J Aging Phys Act.* 1999;7(2):129–61. doi:10.1123/japa.7.2.129
37. Blazeovich AJ, Gill ND, Zhou S. Intra- and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. *J Anat.* 2006;209(3):289–310. doi:10.1111/j.1469-7580.2006.00619.x PubMed PMID: 16928199.
38. Alizadeh S, Daneshjoo A, Zahiri A, Anvar SH, Goudini R, Hicks JP, et al. Resistance Training Induces Improvements in Range of Motion: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine.* 2023;53(3):707–22. doi:10.1007/s40279-022-01804-x PubMed PMID: 36622555.
39. Medeiros DM, Martini TF. Chronic effect of different types of stretching on ankle dorsiflexion range of motion: Systematic review and meta-analysis. *Foot.* 2018;34:28–35. doi:10.1016/j.foot.2017.09.006 PubMed PMID: 29223884.
40. López-Bedoya J, Vernetta-Santana M, Robles-Fuentes A, Ariza-Vargas L. Effect of three types of flexibility training on active and passive hip range of motion. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness.* 2013;53(3):240–7. PubMed PMID: 23715256.

41. Covert CA, Alexander MP, Petronis JJ, Davis DS. Comparison of Ballistic and Static Stretching on Hamstring Muscle Length Using an Equal Stretching Dose. *J Strength Cond Res.* 2010;24(11):3008–14.
42. Sharman MJ, Cresswell AG, Riek S. Proprioceptive neuromuscular facilitation stretching: Mechanisms and clinical implications. *Sports Medicine.* 2006;36(11):929–39. doi:10.2165/00007256-200636110-00002 PubMed PMID: 17052131.
43. Wine JM, Davis AS, Ashby PE, Mccale KL, Mcquain JA. The Effectiveness of 3 Stretching Techniques on Hamstring Flexibility Using Consistent Stretching Parameters. Vol. 19. 2005;19(1):27–32.
44. KABAT H, KNOTT M. Proprioceptive facilitation technics for treatment of paralysis. *Phys Ther Rev.* 1953;33(2):53–64. doi:10.1093/ptj/33.2.53 PubMed PMID: 13026412.
45. Yuktasir B, Kaya F. Investigation into the long-term effects of static and PNF stretching exercises on range of motion and jump performance. *J Bodyw Mov Ther.* 2009;13(1):11–21. doi:10.1016/j.jbmt.2007.10.001 PubMed PMID: 19118789.
46. Konrad A, Tilp M. Effects of ballistic stretching training on the properties of human muscle and tendon structures. *J Appl Physiol.* 2014;117(1):29–35. doi:10.1152/jappphysiol.00195.2014 PubMed PMID: 24812641.
47. Mahieu NN, McNair P, De Muynck M, Stevens V, Blanckaert I, Smits N, et al. Effect of static and ballistic stretching on the muscle-tendon tissue properties. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(3):494–501. doi:10.1249/01.mss.0000247004.40212.f7 PubMed PMID: 17473776.
48. Freitas S, Mendes B, Sant G Le, Andrade R, Nordez A, Freitas S, et al. Can chronic stretching change the muscle-tendon mechanical properties ? A review To cite this version : HAL Id : hal-03347403 Can chronic stretching change the muscle-tendon Author. HAL open sc. 2022.
49. Guissard N, Duchateau J. Neural aspects of muscle stretching. *Exerc Sport Sci Rev.* 2006;34(4):154–8. doi:10.1249/01.jes.0000240023.30373.eb PubMed PMID: 17031252.
50. Riley DA, Van Dyke JM. The Effects of Active and Passive Stretching on Muscle Length. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2012;23(1):51–7. doi:10.1016/j.pmr.2011.11.006 PubMed PMID: 22239873.
51. Reid DA, McNair PJ. Passive force, angle, and stiffness changes after stretching of hamstring muscles. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(11):1944–8. doi:10.1249/01.MSS.0000145462.36207.20 PubMed PMID: 15514511.
52. Guissard N, Duchateau J, Hainaut K. Mechanisms of decreased motoneurone excitation during passive muscle stretching. *Exp Brain Res.* 2001;137(2):163–9. doi:10.1007/s002210000648 PubMed PMID: 11315544.
53. Armstrong RB, Duan C, Delp MD, Hayes DA, Glenn GM, Allen GD. Elevations in rat soleus muscle [Ca²⁺] with passive stretch. *J Appl Physiol.* 1993;74(6):2990–7. doi:10.1152/jappl.1993.74.6.2990 PubMed PMID: 8396114.
54. Peviani SM, Guzzoni V, Pinheiro-Dardis CM, Silva YPD, Fioravante ACR, Sagawa AH, et al. Regulation of extracellular matrix elements and sarcomerogenesis in response to different periods of

- passive stretching in the soleus muscle of rats /631/80 /631/337 /14 /14/32 /38 /38/77 /82 /82/29 article. *Sci Rep*. 2018;8(1):1–9. doi:10.1038/s41598-018-27239-x PubMed PMID: 29899346.
55. Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Gleim GW, McHugh MP, Kjaer M. Viscoelastic response to repeated static stretching in the human hamstring muscle. *Scand J Med Sci Sports*. 1995;5(6):342–7. doi:10.1111/j.1600-0838.1995.tb00056.x PubMed PMID: 8775718.
 56. Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol*. 2002;92(2):595–601. doi:10.1152/jappphysiol.00658.2001 PubMed PMID: 11796669.
 57. Simic L, Sarabon N, Markovic G. Does pre-exercise static stretching inhibit maximal muscular performance? A meta-analytical review. *Scand J Med Sci Sports*. 2013;23(2):131–48. doi:10.1111/j.1600-0838.2012.01444.x PubMed PMID: 22316148.
 58. Barbosa GM, Trajano GS, Dantas GAF, Silva BR, Brito Vieira WH. CHRONIC EFFECTS OF STATIC AND DYNAMIC STRETCHING ON HAMSTRINGS ECCENTRIC STRENGTH AND FUNCTIONAL PERFORMANCE: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL [Internet]. 2019. Available from: www.nasca.com
 59. Douglas J, Pearson S, Ross A, Mcguigan M, Douglas J. Chronic Adaptations to Eccentric Training : A Systematic Review. *Sports Medicine*. 2016. doi:10.1007/s40279-016-0628-4
 60. Rd H, M DN, Sj K. Stretching to prevent or reduce muscle soreness after exercise (Review) SUMMARY OF FINDINGS FOR THE MAIN COMPARISON. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2011;(7):10–2. doi:10.1002/14651858.CD004577.pub3.www.cochranelibrary.com
 61. Tomalka A. Eccentric muscle contractions: from single muscle fibre to whole muscle mechanics. *Pflugers Arch*. 2023;475(4):421–35. doi:10.1007/s00424-023-02794-z PubMed PMID: 36790515.
 62. Hody S, Croisier JL, Bury T, Rogister B, Leprince P. Eccentric muscle contractions: Risks and benefits. *Front Physiol*. 2019;10(MAY):1–18. doi:10.3389/fphys.2019.00536
 63. Lindstedt SL, LaStayo PC, Reich TE. When active muscles lengthen: Properties and consequences of eccentric contractions. *News in Physiological Sciences*. 2001;16(6):256–61. doi:10.1152/physiologyonline.2001.16.6.256 PubMed PMID: 11719600.
 64. Abbott B, Bigland B, Ritchie J. The cost of negative work. *Journal of Physiology*. 1952;117(1901):380–90.
 65. Marzuca-Nassr GN, Vitzel KF, Mancilla-Solorza E, Márquez JL. Sarcomere structure: The importance of desmin protein in muscle atrophy. *International Journal of Morphology*. 2018;36(2):576–83. doi:10.4067/S0717-95022018000200576
 66. Herzog W. The role of titin in eccentric muscle contraction. *Journal of Experimental Biology*. 2014;217(16):2825–33. doi:10.1242/jeb.099127 PubMed PMID: 25122914.
 67. Toigo M, Boutellier U. New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *Eur J Appl Physiol*. 2006;(May). doi:10.1007/s00421-006-0238-1

68. Elfegoun T, Nilsson J, Blomstrand E, Elfegoun T, Nilsson J. Maximal lengthening contractions increase p70 S6 kinase phosphorylation in human skeletal muscle in the absence of nutritional supply. 2006;1197–205. doi:10.1152/ajpendo.00141.2006.
69. Bourne MN, Duhig SJ, Timmins RG, Williams MD, Opar DA, Al Najjar A, et al. Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring architecture and morphology: Implications for injury prevention. *Br J Sports Med.* 2017;51(5):469–77. doi:10.1136/bjsports-2016-096130 PubMed PMID: 27660368.
70. Timmins RG, Ruddy JD, Presland J, Maniar N, Shield AJ, Williams MD, et al. Architectural Changes of the Biceps Femoris Long Head after Concentric or Eccentric Training. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(3):499–508. doi:10.1249/MSS.0000000000000795 PubMed PMID: 26460634.
71. Hosseini E, Alimoradi M, Iranmanesh M, Saki F, Konrad A. The effects of 8 weeks of dynamic hamstring stretching or nordic hamstring exercises on balance , range of motion , agility , and muscle performance among male soccer players with hamstring shortness : a randomized controlled trial. *Vol. 0.* 2025;0.
72. Sadler SG, Spink MJ, Ho A, De Jonge XJ, Chuter VH. Restriction in lateral bending range of motion, lumbar lordosis, and hamstring flexibility predicts the development of low back pain: A systematic review of prospective cohort studies. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017;18(1):1–15. doi:10.1186/s12891-017-1534-0 PubMed PMID: 28476110.
73. Paton BM, Read P, Van Dyk N, Wilson MG, Pollock N, Court N, et al. London International Consensus and Delphi study on hamstring injuries part 3: rehabilitation, running and return to sport. *Br J Sports Med.* 2023;57(5):278–91. doi:10.1136/bjsports-2021-105384 PubMed PMID: 36650032.
74. Warneke K, Thomas E, Blazeovich AJ, Afonso J, Behm DG, Marchetti PH, et al. Practical recommendations on stretching exercise: A Delphi consensus statement of international research experts. *J Sport Health Sci.* 2025;14. doi:10.1016/j.jshs.2025.101067 PubMed PMID: 40513717.
75. Caparrós-Manosalva C, Garrido-Muñoz N, Alvear-Constanzo B, Sanzana-Laurié S, Artigas-Arias M, Alegría-Molina A, et al. Effects of high-intensity interval training on lean mass, strength, and power of the lower limbs in healthy old and young people. *Front Physiol.* 2023;14(September):1–10. doi:10.3389/fphys.2023.1223069
76. Artigas M, Andrea A, Molina A, Vidal N, Cofre RM. Skeletal muscle mass , strength , and physical performance gains are similar between healthy postmenopausal women and postmenopausal breast cancer survivors after 12 weeks of resistance exercise training. *Supportive Care in Cancer.* 2024;32(12):1–12. doi:10.1007/s00520-024-08973-7
77. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* 2nd ed. routledge.; 1988.
78. Cuyul-vásquez I, Castillo-vejar L, Garrido-muñoz N, Soto- F, Bascour-sandoval C, Muñoz-poblete C, et al. Scientific Reports Article in Press One third of people exert greater handgrip strength with their non-dominant hand IN AR IN. 2025.
79. Pantouveris M, Kotsifaki R, Whiteley R. Inclinometers and Apps Are Better than Goniometers , Measuring Knee Extension Range of Motion in Anterior Cruciate Ligament Patients : Reliability and Minimal Detectable Change for the Three Devices. 2024.

80. Potier TG, Alexander CM, Seynnes OR. Effects of eccentric strength training on biceps femoris muscle architecture and knee joint range of movement. 2009;939–44. doi:10.1007/s00421-008-0980-7
81. American College of Sports Medicine. Manual ACSM para la valoración y prescripción del ejercicio. Editorial Paidotribo. 2014. 412 p.
82. Mayorga-vega D, Merino-marban R, Viciano J. Criterion-Related Validity of Sit-And-Reach Tests for Estimating Hamstring and Lumbar Extensibility : A Meta-Analysis. 2014;(October 2013):1–14.
83. Behm DG, Blazeovich AJ, Kay AD, Mchugh M. Acute effects of muscle stretching on physical performance , range of motion , and injury incidence in healthy active individuals : a systematic review. Vol. 11. 2016;11:1–11.
84. Amoroso P, Felici F. Resistance training-induced adaptations in the neuromuscular system : Physiological mechanisms and implications for human performance. Vol. 1. 2026;1:81–115. doi:10.1113/JP289716
85. Blazeovich AJ. Effects of Physical Training and Detraining , Immobilisation , Growth and Aging on Human Fascicle Geometry. Vol. 36. 2006;36(12):1003–17.
86. Seynnes OR, Boer M De, Narici M V, Crill MT, Berlet G, Hyer C, et al. Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. 2014;(October 2006):368–73. doi:10.1152/jappphysiol.00789.2006
87. Woodley SJ, Mercer SR. Hamstring Muscles : Architecture and Innervation. 2005;125–41. doi:10.1159/000085004