



**POLITÉCNICA**



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD  
FÍSICA Y DEL DEPORTE (INEF)

# Trabajo para la obtención del Título de Graduado en Ciencias del Deporte

## Efectos del rango de movimiento y el torque sobre la hipertrofia muscular. Revisión sistemática.

**Autor:**

D. Alberto Armero Sotillo

Departamento de Salud y Rendimiento Humano

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**Curso 2023-2024**





**POLITÉCNICA**



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD  
FÍSICA Y DEL DEPORTE (INEF)

# Trabajo para la obtención del Título de Graduado en Ciencias del Deporte

## Efectos del rango de movimiento y el torque sobre la hipertrofia muscular. Revisión sistemática.

**Autor:** D. Alberto Armero Sotillo

**Dirigido por:** Dr. D. Pedro José Benito Peinado  
Departamento de Salud y Rendimiento Humano  
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF).

**Línea temática:** Entrenamiento para el aumento de la masa muscular

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**Curso 2023-2024**



## **AGRADECIMIENTOS**

Quienes me conocen saben que mi camino hasta llegar aquí no ha sido ni corto ni plácido. Es por ello que son muchas las personas a las que debo agradecer, por haberme ayudado a conseguirlo.

Empezando por el final, gracias al INEF, al que, al igual que todos los que pasamos por aquí, considero mi casa. Mi experiencia aquí no habría sido la misma si no hubiese formado parte del Laboratorio de Fisiología del Esfuerzo, siempre estaré agradecido a Rocío y Miguel por descubrirme el laboratorio, y crear en mí el afán por conocer más; a Ana por permitirnos colaborar, y cuidarnos durante nuestro aprendizaje; a María por las clases particulares de fisiología durante las pruebas; a Ildefonso por su disponibilidad constante; a Isa y Jose, por ser nuestros mentores y tratarnos como uno más, aun cuando éramos unos recién llegados; a Pedro José Benito Peinado, director de este trabajo, sin quien esto no hubiese salido adelante, gracias por la confianza depositada, no todos los profesores son maestros, pero usted lo es en todas las acepciones de la palabra. Todos ellos, y otros muchos, han formado parte durante estos años de lo que ha sido para mí un proceso de enriquecimiento sin precedentes, abriéndome una nueva rama a explorar.

Si la universidad es una de las ramas del árbol que me constituye como persona, no cabe duda de que las raíces que sustentan todo es mi familia. Gracias, mamá y papá por sembrar la semilla de los valores, poner el rodrión de la educación, y abonar mi progreso durante todos estos años. Agradecer a mis hermanas, Diana, Elena y Paula, por hacer de ésta una familia feliz a su manera. A Mocca, por ser mi luz con su amor incondicional, y a Livia por estar a mi lado, incluso desde la distancia, durante todos estos largos años de universidad. Gracias familia.

Por último, y sin ánimo de parecer pretencioso, me gustaría agradecerme también a mí mismo, o más bien, a mi yo del pasado. Gracias por mantenerte al timón aun cuando parecía que no había rumbo. Sirva también como motivación a mi yo del futuro, recuerda lo pasado sin caer en la nostalgia, persiste sin ser tozudo y, sobre todo, enumera alegrías y no pesares.

Nos vemos en la brecha, queridos amigos.

GRACIAS





**ÍNDICE DE CONTENIDOS:**

**AGRADECIMIENTOS** ..... **V**

**ÍNDICE DE FIGURAS**..... **4**

**ÍNDICE DE TABLAS**..... **5**

**ÍNDICE DE ABREVIATURAS** ..... **6**

**RESUMEN** ..... **7**

    Introducción.....7

    Objetivos .....7

    Métodos .....7

    Resultados .....7

    Discusión.....7

    Conclusiones .....8

**ABSTRACT** ..... **9**

    Introduction .....9

    Objectives .....9

    Methods .....9

    Results .....9

    Discussion .....9

    Conclusions .....10

**1. INTRODUCCIÓN**..... **11**

    1.1 La importancia de la fuerza y el rol de la hipertrofia en la fuerza muscular ..... 11

    1.2 Definición de Hipertrofia ..... 12

    1.3 Formas de medir la masa muscular ..... 13

1.4 Variables que afectan a la hipertrofia .....	14
1.5 Mecanismos de la hipertrofia asociados al entrenamiento .....	16
1.6 Variables del entrenamiento que afectan a la hipertrofia .....	18
1.7 Definición de rango de movimiento .....	20
1.8 Definición de torque.....	21
<b>2. OBJETIVOS DEL TRABAJO FIN DE GRADO.....</b>	<b>24</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
3.1 Criterios de elegibilidad .....	25
3.1.1 Población .....	25
3.1.2 Intervención .....	25
3.1.3 Comparadores .....	26
3.1.4 Resultados.....	26
3.1.5 Diseño de estudio .....	26
3.2 Estrategia de búsqueda e identificación.....	26
3.2.1 Frase de búsqueda Pubmed .....	27
3.2.2 Frase de búsqueda WOS .....	27
3.2.3 Revisión de resultados.....	28
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
4.1 Características del estudio .....	29
4.2 Nivel de evidencia y calidad de los estudios.....	35
<b>5. DISCUSIÓN .....</b>	<b>37</b>
5.1 Respuesta de la hipertrofia frente a las variaciones en el ROM .....	37
5.2 Respuesta de la hipertrofia a los diferentes torques .....	41
5.3 Relación entre torque, ROM e hipertrofia.....	42
5.4 Ejercicios potencialmente beneficiados por un ROM específico .....	44
5.5 Limitaciones .....	45

<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>7. PROPUESTA PRÁCTICA .....</b>	<b>49</b>
<b>7.1 Listado de recomendaciones prácticas para el entrenamiento .....</b>	<b>49</b>
<b>7.2 Ejemplo de rutina tipo .....</b>	<b>49</b>
<b>8. REFERENCIAS .....</b>	<b>51</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Mapa de los factores que afectan a la hipertrofia (Simposio Internacional de Actualizaciones en Entrenamiento de la Fuerza, 2018). .....	14
<b>Figura 2:</b> Diferencias de hipertrofia en función del nivel de experiencia en el entrenamiento (Benito et al., 2020). .....	16
<b>Figura 3:</b> Ilustración de los tipos de rango de movimiento. fROM ( <i>full Range Of Motion</i> ); pROMl ( <i>partial Range Of Motion in lengthened position</i> ); pROMs ( <i>partial Range Of Motion in shortened position</i> ).....	21
<b>Figura 4:</b> Ilustración del torque articular en un <i>curl</i> predicador, valores de fuerza obtenidos de Nunes et al. (2020a). .....	22
<b>Figura 5:</b> Relación longitud-tensión de un sarcómero (Odegard et al., 2008). .....	23
<b>Figura 6:</b> Perfiles de resistencia en ejercicios de extensión de cadera y el torque que generan (Contreras et al., 2013).....	23
<b>Figura 7:</b> Diagrama de flujo <i>PRISMA</i> . .....	29
<b>Figura 8:</b> Pirámide de la evidencia científica (Mulimani, 2017). .....	35
<b>Figura 9:</b> Perfiles de resistencia del <i>curl</i> predicador ejecutado en el estudio de Nunes et al. (2020a), representados con el torque obtenido en diferentes grados de flexión articular. ...	41

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Características principales y resultados de los artículos incluidos en la revisión. ....	30
<b>Tabla 2:</b> Validez de los RCTs según la escala PEDro ( <i>Physiotherapy Evidence Database</i> ). .....	36
<b>Tabla 3:</b> Ejemplo de sesión de entrenamiento para pectoral y bíceps. ....	50

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- CMO: Contenido Mineral óseo
- CSA: *Cross-Sectional Area*
- DMO: Densidad Mineral ósea
- FFM: *Fat Free Mass*
- fROM: *full Range Of Motion*
- fROMl: *full Range Of Motion in lengthened position*
- fROMs: *full Range Of Motion in shortened position*
- GH: *Growth Hormone*
- IGF1: *Insulin-like Growth Factor 1*
- LMM: *Lean Muscle Mass*
- MM: *Muscle Mass*
- MPS: *Muscle Protein Synthesis*
- mTORC1: *mammalian Target Of Rapamycin Complex 1*
- PICOS: *Population, Intervention, Comparators, Outcomes, Study design*
- PRISMA: *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*
- pROM: *partial Range Of Motion*
- pROMl: *partial Range Of Motion in lengthened position*
- pROMs: *partial Range Of Motion in shortened position*
- RCTs: *Randomized Controlled Trials*
- RIR: *Repetitions In Reserve*
- RMN: *Resonancia Magnética Nuclear*
- ROM: *Range Of Motion*
- RPE: *Rate of Perceived Exertion*
- RT: *Resistance Training*
- SMH: *Stretch-Mediated Hypertrophy*
- SMM: *Skeletal Muscle Mass*
- SNC: *Sistema Nervioso Central*
- ST: *Strenght Training*
- TUT: *Time Under Tension*
- WOS: *Web Of Sciencie*

# RESUMEN

## Introducción

Son muchos los parámetros que afectan a la capacidad de generar hipertrofia por medio del entrenamiento con resistencias. Entre ellos, encontramos las variables del entrenamiento, dentro de éstas encontramos el rango de movimiento y el torque o perfil de resistencia del ejercicio, dada la relación que existe entre ambas variables es imprescindible conocer cómo interrelacionan entre sí para maximizar las ganancias de hipertrofia mediante la optimización del entrenamiento.

## Objetivos

El objetivo de este estudio es realizar una revisión sistemática que examine la evidencia científica sobre los efectos del rango de movimiento y torque sobre la hipertrofia muscular, además de analizar cómo interactúan entre sí estas dos variables para así poder establecer pautas de entrenamiento que optimicen el uso de ambas variables.

## Métodos

Las webs de ciencia Pubmed (Medline) y Web of Science fueron las bases de datos en las que se realizó la búsqueda bibliográfica, incluyendo artículos hasta el mes de noviembre de 2023.

## Resultados

Tras la identificación y filtrado de artículos, fueron incluidos diecisiete artículos en la revisión final. Cuatro de ellos eran revisiones sistemáticas con metaanálisis y trece de ellos eran pruebas controladas aleatorizadas. Para establecer el grado de validez de los artículos se aplicó la escala PEDro de la *Physiotherapy Evidence Database*.

## Discusión

Los efectos del rango de movimiento sobre la hipertrofia cuando se compara rango de movimiento completo y rango de movimiento parcial son diferentes en función de si el rango de movimiento parcial se produce en acortamiento o estiramiento muscular. Por ello, deberíamos crear una clasificación de los rangos de movimientos parciales para poder diferenciar los efectos que tienen sobre la hipertrofia. El rango de movimiento parcial en

acortamiento muscular siempre obtiene peores resultados que el rango completo o el parcial en estiramiento, por lo que podemos establecer como clave para la hipertrofia que el rango de movimiento pase por el estiramiento muscular.

Respecto a los efectos del torque, la evidencia al respecto es muy limitada y requiere de más estudio para entender cómo diferentes torques pueden afectar a la hipertrofia muscular. Con la evidencia actual solo se puede establecer como primordial que el rango de movimiento debe pasar por la zona de mayor torque del ejercicio para maximizar la hipertrofia.

### **Conclusiones**

Para optimizar la hipertrofia muscular generada por el entrenamiento con resistencias es clave que el rango de movimiento pase por el estiramiento muscular, ya sea con un rango de movimiento completo o con un rango parcial en estiramiento, a la vez, debe pasar por la zona de mayor torque del ejercicio.

# **ABSTRACT**

## **Introduction**

There are many parameters that affect the ability to generate hypertrophy through resistance training. Among them, we find the training variables, within these we find the range of motion and the torque or resistance profile of the exercise, given the relationship that exists between both variables it is essential to know how they interrelate to maximize hypertrophy gains by optimizing training.

## **Objectives**

The aim of this study is to perform a systematic review that examines the scientific evidence on the effects of range of motion and torque on muscle hypertrophy, in addition to analyzing how these two variables interact with each other in order to establish training guidelines that optimize the use of both variables.

## **Methods**

Pubmed (Medline) and Web of Science were the databases in which the bibliographic search was carried out, including articles up to November 2023.

## **Results**

After identification and screening of articles, seventeen articles were included in the final review. Four of them were systematic reviews with meta-analysis and thirteen of them were randomized controlled trials. To establish the degree of validity of the articles, the PEDro scale of the Physiotherapy Evidence Database was carried out.

## **Discussion**

The effects of range of motion on hypertrophy when comparing full range of motion and partial range of motion are different depending on whether the partial range of motion occurs in muscle shortening or stretching. Therefore, we should create a classification of partial ranges of motion in order to differentiate the effects they have on hypertrophy. The partial range of motion in muscle shortening always obtains worse results than the full range or

partial range in stretching, so we can establish as key to hypertrophy that the range of motion goes through muscle stretching.

Regarding the effects of torque, the evidence in this regard is very limited and requires further study to understand how different torques can affect muscle hypertrophy. With the current evidence it can only be established as paramount that the range of motion should pass through the highest torque zone of the exercise to maximize hypertrophy.

### **Conclusions**

To optimize muscle hypertrophy generated by resistance training it is key that the range of motion goes through the muscle stretch, either with a full range of motion or with a partial range in stretch, at the same time, it must go through the zone of greatest torque of the exercise.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 La importancia de la fuerza y el rol de la hipertrofia en la fuerza muscular

Las personas que practican entrenamiento de fuerza o con resistencias habitualmente tienen una menor mortalidad y menor riesgo de padecer cáncer (Stamatakis et al., 2018). Uno de los parámetros que mejor relaciona con el nivel de fuerza es la fuerza de presión manual o fuerza de agarre, este parámetro es un mejor indicador de la mortalidad que existe (Kim et al., 2017). La masa muscular es indispensable en la producción de fuerza, ya que esta se produce por la contracción de las fibras musculares al recibir el estímulo nervioso. Es por ello que, el aumento de fuerza se puede producir por una mejora del componente neural o del componente estructural (Moritani & deVries, 1979).

Las adaptaciones neurales son las primeras en producirse en el entrenamiento y vienen dadas por procesos como el mayor reclutamiento de unidades motoras, la frecuencia de estimulación, impulso neural durante la contracción máxima, impulsos inhibitorios, etc. Es probable que una combinación de la mejora de la sincronización de las unidades motoras y del reclutamiento de las mismas conduzca a un aumento de la fuerza.

Por su parte las adaptaciones musculares o hipertrofia requieren de mayor tiempo (6-8 semanas) para producirse. Estas adaptaciones son: mayor número de miofibrillas, más filamentos de actina y miosina, más tejido conectivo, más sarcoplasma y mayor síntesis proteica muscular o *muscle protein synthesis* (MPS).

Si bien el aumento de la fuerza puede producirse sin hipertrofia, el aumento de la fuerza no puede producirse sin adaptaciones neuronales a través de la plasticidad. Se pueden mejorar los parámetros neurales con una misma cantidad de músculo mientras que, aun si se aumentase el número de unidades contráctiles, si estas no se reclutan correctamente (mejora neural), no se producirá un aumento de la fuerza (Reggiani & Schiaffino, 2020), demostrándose que la fuerza es una propiedad del sistema motor, no sólo del músculo. El músculo es solo el encargado de realizar las contracciones musculares que producen fuerza, pero recibe las órdenes y la forma de actuar desde el sistema nervioso central (SNC).

Estas contracciones musculares son claves para evitar enfermedades como la osteopenia u osteoporosis, ya que la contracción muscular supone un estímulo mecánico que obliga al hueso a mantener un estado de salud óptimo y ayuda a conservar el contenido mineral óseo (CMO) y, por ende, la densidad mineral ósea (DMO) (Wolfe, 2006). Pero el papel de la masa

muscular en la fuerza y en la salud no se limita a las contracciones musculares, es clave también el papel del músculo a nivel metabólico y fisiológico, ya que cumple muchas otras funciones, como pueden ser la de reservorio de aminoácidos, de fosfocreatina o su función como órgano endocrino (Hoffmann & Weigert, 2017), entre muchas otras. Por todo ello, cuando la cantidad de masa muscular o las funciones de esta se ven dañadas en su conjunto aparece la enfermedad denominada sarcopenia, que se produce especialmente en edad avanzada, pero cabe destacar que esta falta de capacidad contráctil y, por tanto, de movimiento en el envejecimiento, no es tan asociado a la edad *per se*, si no a la falta de movimiento que se tiende a tener en esas edades (Lopez et al., 2018). Es por ello que alcanzar una buena cantidad de masa muscular durante la juventud, y hacer uso de ella a lo largo de la vida, es primordial para tener un plácido envejecimiento alejado de las enfermedades.

## **1.2 Definición de Hipertrofia**

Palabra que deriva del prefijo “hiper”, que denota superioridad o exceso, junto con el núcleo “-trofia” del griego “trophia”, que significa cualidad de un alimento que aporta crecimiento gracias al mismo (Haun et al., 2019b). Con respecto a la masa muscular, la hipertrofia ha sido generalmente definida como el aumento de la masa muscular y área transversal del músculo tanto a nivel de tejido como celular (Haun et al., 2019b; Russell et al., 2000). Por su parte, Schoenfeld, en su libro (2016), califica la hipertrofia como “el incremento de volumen del tejido muscular”.

Dentro de la definición de hipertrofia muscular, son dos las formas en las que esta puede verse representada (Haun et al., 2019a; Paul & Rosenthal 2002):

- Hipertrofia sarcoplasmática: incremento del tamaño muscular debido a la acumulación de metabolitos y sustratos (glucógeno, triglicéridos, etc.) A la vez que aumenta el volumen del sarcolema por el aumento del tamaño mitocondrial y sarcoplasmático.
- Hipertrofia miofibrilar: incremento del tamaño y/o número de miofibrillas, sarcómeros y proteínas sarcoméricas. Está relacionada directamente con la capacidad de producción de fuerza del músculo. Este aumento en el número de los sarcómeros se puede dar tanto en paralelo, aumento de la sección transversal del músculo o *cross-*

*sectional área* (CSA), como en serie, aumento de la longitud muscular (Tous Fajardo, 1999, pp. 39-42).

### 1.3 Formas de medir la masa muscular

Claramente la hipertrofia muscular hace referencia a la masa muscular del cuerpo o *muscle mass* (MM) del sujeto. Si bien es fácil entender a qué hacemos referencia, no es tan fácil medirlo y expresarlo en términos científicos. Esto se debe principalmente a la dificultad de separar los componentes corporales con mediciones no invasivas, ya que la forma más precisa de medición de la composición corporal es la disección de cadáveres (Clarys et al., 1984), en la que se separan y pesan los diferentes componentes corporales. En este caso sí se puede establecer de forma precisa la cantidad de masa muscular corporal o *Skeletal muscle mass* (SMM). Dada la poca conveniencia de este método de medición en sujetos vivos, se usan otros métodos de estimación por medición indirecta. Los más comunes y sencillos son aquellos en los que se mide la masa grasa del cuerpo y se considera masa libre de grasa o *fat free mass* (FFM) el resto. Esto no aporta un valor exacto de la MM del sujeto, pero, en adultos, los incrementos que se producen en la FFM son considerados como aumentos de la MM asociados a la hipertrofia muscular. Si además de quitar la masa grasa quitamos también el peso óseo o contenido mineral óseo, obtenemos la masa magra o *lean muscle mass* (LMM). Pese a estas clasificaciones, varios autores usan otros métodos de expresión de la MM, como *lean body mass*, *lean tissue mass*, *appendicular skeletal muscle mass*, etc. Es por ello por lo que, en ocasiones, es realmente difícil comparar resultados de diferentes estudios, ya que entre las diferencias de nomenclatura para una misma cosa, y las diferentes combinaciones de componentes corporales en las que podemos encontrar englobada la MM, se puede complicar establecer y cuantificar cómo y cuánto afectan diferentes factores a la MM.

Además de las formas en las que podemos encontrar referenciada la MM hay que hablar también las formas de medirla en cuanto a uso de dispositivos se refiere. Ya hemos mencionado que un método sería la disección de cadáveres con el uso de material que ello conlleva. En métodos menos invasivos encontramos el gold estándar en la resonancia magnética nuclear (RMN) aplicada al tejido musculoesquelético. Gracias a este método

podemos ver la sección transversal de un músculo gracias a una imagen transversa del segmento analizado dónde se pueden distinguir los diferentes músculos que lo componen en diferentes planos. Además, realizando un barrido de resonancias a lo largo del cuerpo humano podríamos llegar a desarrollar una imagen 3D juntando todas las imágenes (Abe et al., 2003). Otros métodos de medición son los ultrasonidos, pero este método depende mucho del nivel del especialista que lo ejecute, ya que en función de la presión ejercida sobre la piel puede variar la cantidad de MM que se estime. Otro método que depende de la capacidad del evaluador son las mediciones antropométricas, que se pueden usar en extremidades midiendo el perímetro y corrigiendo por el pliegue cutáneo (Bartolomei et al., 2018). Otra forma de usar las medidas antropométricas para estimar la MM es introducir las medidas en formulas estandarizadas como la fórmula Lee o la fórmula de Martin (Canda, 2021).

### 1.4 Variables que afectan a la hipertrofia

Son varios los parámetros que afectan a la posibilidad de hipertrofiar de un sujeto, Benito et al. (2018) (Simposio Internacional de Actualizaciones en Entrenamiento de la Fuerza, 2018) los resumieron dentro de su mapa de la hipertrofia.

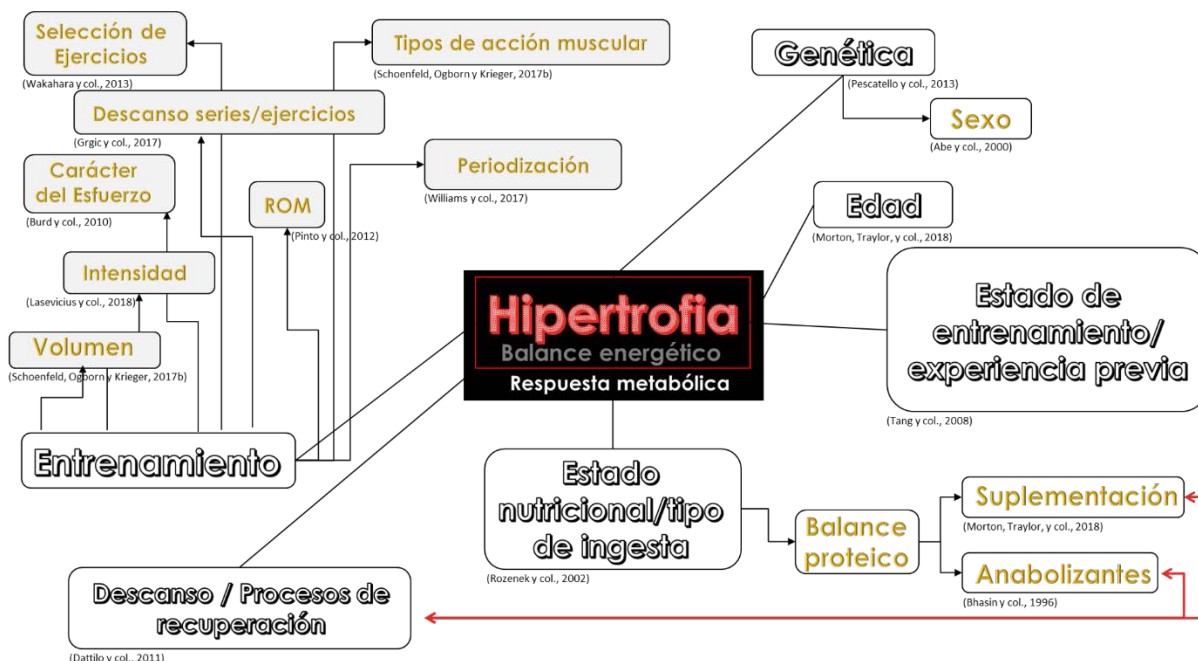


Figura 1: Mapa de los factores que afectan a la hipertrofia (Simposio Internacional de Actualizaciones en Entrenamiento de la Fuerza, 2018).

En su estudio los investigadores agruparon los diferentes factores en parámetros intrínsecos al sujeto, o lo que es lo mismo, no modificables, como pueden ser la edad, el sexo, la genética o una sí asociada al entrenamiento, como es la experiencia previa. Por otro lado, encontramos tres grupos de variables que sí son modificables para inducir hipertrofia: el grupo de los factores relacionados con la ingesta de nutrientes (balance energético, balance proteico, ingesta de nutrientes, suplementación, etc.), los asociados a la recuperación (horas de sueño, descanso entre entrenamientos, descanso de un grupo muscular, etc.) y, por último, el grupo de factores asociados al entrenamiento, donde encontramos las variables de entrenamiento asociadas a la hipertrofia.

Todos estos factores han demostrado, en mayor o menor medida, tener un rol en la cantidad de MM que se puede llegar a desarrollar durante un intento de producir hipertrofia. Para demostrar cómo y cuánto afecta cualquiera de estos parámetros a la cantidad de hipertrofia que podemos producir, deberemos mantener bajo control el resto de los parámetros, sabiendo las limitaciones que esto puede conllevar al haber parámetros intrínsecos al sujeto no modificables, si bien, aún con ello, podemos optimizar los que sí son modificables para producir hipertrofia y establecer cuan de importante es cada uno de estos factores como variable independiente.

Respecto a cuanto cabe esperar que un sujeto hipertrofie dependerá enormemente de como de favorables sean los factores expuestos anteriormente. Algunos de ellos son intrínsecos del sujeto, como son el sexo, edad o la genética que poseemos, estos no pueden ser controlados y modificados en favor de conseguir una mayor hipertrofia. Por otro lado, los factores asociados a la nutrición, balance energético e ingesta de nutrientes sí son modificables para optimizar la hipertrofia. Lo mismo sucede con los parámetros asociados al descanso, horas de sueño, descanso del grupo muscular entrenador, etc. Por su parte, los factores que más conciernen en nuestro estudio, los asociados al entrenamiento también pueden ser modificados y optimizados para obtener una mayor hipertrofia muscular. En esta línea de investigación, Benito et al. (2020) establecieron unas franjas de MM que se puede obtener a través del entrenamiento con cargas/resistencias o *resistance training* (RT) cuando se controlan las variables de la hipertrofia modificables (nutrición, descanso y entrenamiento). En el estudio, podemos ver como la variable que más marca la cantidad de hipertrofia que se produce es el volumen de entrenamiento, más adelante hablaremos de este parámetro y

cómo se comporta. También podemos observar como el nivel de experiencia del sujeto es clave, siendo los sujetos novatos y expertos los que consiguen obtener una mayor hipertrofia.

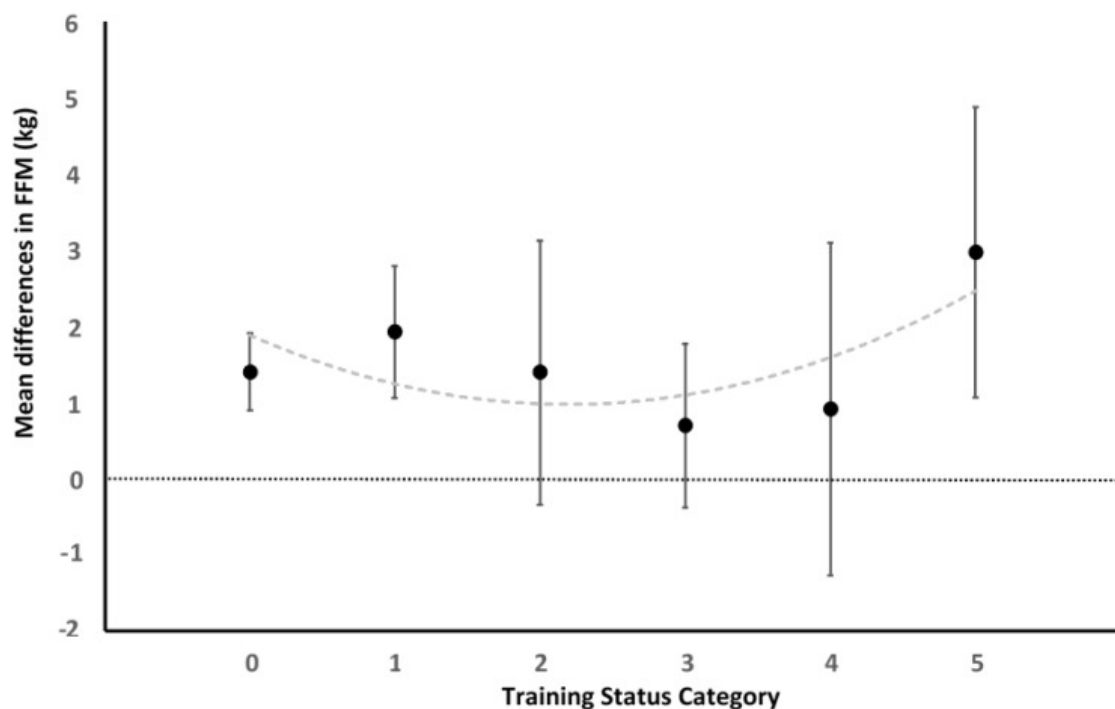


Figura 2: Diferencias de hipertrofia en función del nivel de experiencia en el entrenamiento (Benito et al., 2020).

Dentro de los estudios incluidos en la revisión de Benito et al. (2020), el promedio de ganancia de masa muscular fue de 1.56 kg para la FFM y de 1.65 kg para la LMM, siendo los mayores aumentos relativos al peso los encontrados en los estudios de: Thorstensson et al. (1976) con un 13.9%, Wilson et al. (2014) con un 10.6% y Lukaski et al. (1996) con un 9.3%. Por otro lado también se pueden encontrar intervenciones que generen hipertrofia casi nula, como por ejemplo los estudios de Gallagher et al. (2000) y Peeters et al. (1999), pudiendo incluso llegar a producirse que una intervención de aumento de MM mediante el RT resulte en una disminución de la hipertrofia muscular si las variables que afectan a la hipertrofia no son controladas adecuadamente.

### 1.5 Mecanismos de la hipertrofia asociados al entrenamiento

El entrenamiento con cargas o con resistencias, *RT* o *strength training (ST)* es una actividad física muy extendida y recomendada para el incremento o mantenimiento de la salud

musculoesquelética (ACSM, 2009). Es típicamente realizado con peso libre, máquinas con resistencia y equipo isocinético.

Además, sabemos que el RT es el mejor método de entrenamiento para aumentar la masa muscular, superior al entrenamiento de tipo aeróbico o cardiovascular (Grgic et al., 2019). A su vez, el RT es el mejor método no farmacológico de activación de las variables ligadas a la hipertrofia y, por tanto, el mejor método para mantener o ganar masa muscular (Lim et al., 2022).

El entrenamiento con resistencias genera hipertrofia por medio de tres mecanismos principales (Schoenfeld, 2010):

- a) **Tensión mecánica:** se trata de las fuerzas que exigen una contracción al músculo activando los sensores mecánicos del mismo. A día de hoy, es considerado el principal mecanismo de la hipertrofia ya que, igualando tensión mecánica, medida como tiempo bajo tensión o *time under tension* (TUT), la hipertrofia es similar entre diferentes tipos de protocolos de entrenamiento (Martins-Costa et al., 2022).
- b) **Estrés metabólico:** es la producción de metabolitos asociados al entrenamiento producidos a raíz de la realización del mismo, especialmente metabolitos producidos por la glucólisis anaeróbica, particularmente lactato, el cual se creía que era un mero desecho metabólico, pero cada vez se asocia más su presencia al estímulo hipertrófico (Lawson et al., 2022; Ohno et al., 2019), y otros metabolitos tales como hidrogeniones, miokinas, especies reactivas de oxígeno, etc. Esto se debe principalmente a la situación de hipoxia muscular puntual que se puede producir durante el RT (Schoenfeld, 2013).
- c) **Daño muscular:** se trata de alteraciones en la fibra muscular, sarcolema, retículo sarcoplasmático, pérdida o ruptura de proteínas, alteraciones en elementos contráctiles, pudiendo llegar a la necrosis muscular (Schoenfeld, 2016), también puede afectar a otras estructuras como tejido conectivo o matriz extracelular.

Todos estos mecanismos tienen en común la activación de la cascada de reacciones conocida como mTORC1 (*mammalian target of rapamycin complex 1*), encargada de la activación de la MPS, que es uno de los mecanismos más importantes para la ganancia de masa muscular (Wackerhage et al., 2019).

## 1.6 Variables del entrenamiento que afectan a la hipertrofia

Respecto a las variables de entrenamiento que influyen en la hipertrofia (Benito Peinado, 2020, pp. 279-293) encontramos:

- **Volumen:** se refiere al número de series por grupo muscular realizado por semana o microciclo de entrenamiento o bien al número de repeticiones multiplicado por la carga levantada, volumen de carga o tonelaje. La cuantificación de las series realizadas por grupos muscular es una buena forma de predicción de la hipertrofia muscular (Baz-Valle et al., 2021). Recientes estudios como el de Baz-Valle (Baz-Valle et al., 2022) determinan el rango de series por grupo muscular para la obtención de hipertrofia muscular, donde vemos que el número de series semanales está entre 8 y 20, y el uso de una zona inferior o superior de la franja vendrá dado por los objetivos y experiencia del sujeto. Cabe destacar que no siempre más volumen es más hipertrofia y que existe una relación dosis-respuesta no lineal (Schoenfeld et al., 2017a).
- **Intensidad:** en el entrenamiento con resistencias hace referencia a las repeticiones realizadas frente a las repeticiones realizables con dicha carga. Se cuantifica con métodos como las repeticiones en reserva o *repetitions in reserve* (RIR) e índice de esfuerzo percibido o *rate of perceived exertion* (RPE). Para que las series sean útiles para la hipertrofia, el carácter de esfuerzo deberá ser medio-alto como mínimo, es decir, tener un RIR bajo, aproximadamente entre 4 repeticiones en reserva y 0 repeticiones o fallo muscular (Grgic et al., 2022; Refalo et al., 2023; Vieira et al., 2021). La intensidad es el factor más determinante para que una serie sea efectiva para hipertrofia, si no se alcanza una alta intensidad no se producirá hipertrofia muscular. Es por ello que, pese a que el volumen sea un parámetro que determine mejor la cantidad de hipertrofia que la intensidad, ya que como hemos mencionado, más intenso no siempre es más hipertrofia, es clave que la intensidad alta sea constante, mientras que el volumen puede modificarse más (Lacerda et al., 2020).
- **Frecuencia de entrenamiento:** se trata del número de veces que se entrena un mismo grupo muscular dentro de un mismo microciclo de entrenamiento o semana. Se ve directamente afectada por el volumen de entrenamiento y la intensidad ya que los tres se interrelacionan entre sí. La frecuencia por sí sola no afecta a la hipertrofia ya que a un

mismo volumen de entrenamiento y siendo que todas las series de ese volumen tengan una intensidad adecuada, a un mismo volumen semanal la hipertrofia será la misma sin importar la frecuencia de entrenamiento con la que se entrene ese grupo muscular (Moesgaard et al., 2022). Por ello la frecuencia será una herramienta más que usaremos sobre todo como método de aprendizaje en sujetos que se inicien en el entrenamiento y como método para limitar el volumen diario para no sobrepasar el volumen muscular máximo por entrenamiento, o bien para casos en los que se quiera limitar la fatiga muscular local reduciendo el volumen diario y aumentando la frecuencia para cumplir un mismo volumen semanal (Schoenfeld et al., 2019; Schoenfeld et al., 2016a)

- **Tiempo bajo tensión y cadencia:** el TUT es el tiempo que dura la realización de una serie, sumando todas las series de un mismo grupo muscular por entrenamiento se obtiene el TUT de cada grupo muscular de la sesión. Cada repetición se compone de cuatro fases: concéntrica, excéntrica y dos fases de transición entre estas. Cualquier modificación de la cadencia, ritmo o tempo de ejecución, aumentando el tiempo que se mantiene cada una de estas fases afectará directamente al número de repeticiones que se puede hacer con una carga dada. Con respecto a los efectos de la cadencia de ejecución en la hipertrofia, vemos como, siempre que se realice la repetición entre 0.5" y 8" la hipertrofia no se ve afectada negativamente (Schoenfeld et al., 2015). Si bien el tiempo total de la repetición no influye tanto en la hipertrofia, no es lo mismo que este tiempo se produzca en la fase concéntrica que en la excéntrica, ya que las adaptaciones musculares que generarán una y otra serán diferentes. La hipertrofia se ve beneficiada del TUT en excéntrico, pero este trabajo es muy dañino y fatigante para el músculo, por lo que se debe controlar, si bien es muy interesante que dentro de ciclos dinámicos de estiramiento-acortamiento se ralentice y controle la fase excéntrica para maximizar la hipertrofia (Schoenfeld et al., 2017b). Aunque la cadencia es una importante variable del entrenamiento, debe ser prescrita de forma precisa, ya que la deliberada manipulación del tempo de ejecución puede afectar a las repeticiones que se pueden realizar. Además, es posible que con cargas altas, o cuando se está cerca del fallo, no sea posible mantener la cadencia estipulada, ya que se habrá sobrepasado la resistencia muscular acíclica, que es el punto a partir del cual no se puede modular la velocidad de ejecución a placer, y no por ello se deba parar la serie con objetivo hipertrófico, ya que la cercanía al fallo es indispensable. A su vez, mantener

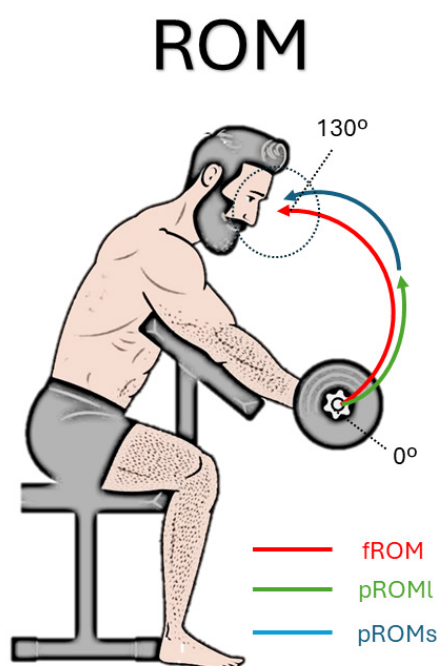
el foco atencional en el tempo de ejecución, y no en la contracción muscular o patrón de movimiento del ejercicio, puede afectar también a la calidad de la serie (Wilk et al., 2021).

- **Tiempos de descanso:** se trata del tiempo que transcurre entre las series o ejercicios de un entrenamiento. La evidencia científica indica que para maximizar los resultados de hipertrofia en el entrenamiento los descansos entre series no deben ser especialmente cortos, ya que los descansos largos (3') generan una mayor hipertrofia que descansos más cortos (1') (Schoenfeld et al., 2016b). Además, estos descansos cortos pueden inhibir la respuesta de la MPS al entrenamiento (McKendry et al., 2016). Por lo que, en líneas generales, se deben buscar descansos de más de 2' para maximizar las ganancias de hipertrofia (Grgic et al., 2017).
- **Foco atencional:** hace referencia a en qué focalizamos nuestra atención durante la ejecución de la serie. Para hipertrofia es muy conocido el foco interno denominado conexión mente-músculo o *mind-muscle connection*. Durante mucho tiempo se ha establecido mucha rumorología sobre la eficacia o no de centrar la atención en notar o pensar la contracción muscular del músculo objetivo (Halperin & Vigotsky, 2016). Si bien ya sabemos que sí existe evidencia para establecer el foco atencional en la contracción muscular. y que este hecho aumenta la activación muscular del músculo objetivo (Calatayud et al., 2016). También se sabe que además del foco interno de la conexión mente-músculo, las instrucciones verbales también tienen efecto sobre la capacidad de activación del músculo objetivo y, por tanto, sobre la hipertrofia (Fujita et al., 2021; Paoli et al., 2019).
- **Rango de movimiento:** dado que esta variable de la hipertrofia es uno de los principales parámetros del presente estudio le dedicaremos un apartado específico a continuación.

## **1.7 Definición de rango de movimiento**

Termino abreviado en inglés con las siglas ROM que equivalen a *range of motion* o *range of movement*. La definición de ROM se refiere a los grados de movimiento que ocurren en una articulación concreta durante la ejecución de un ejercicio (Haff & Triplett, 2017, p. 665). Si, durante la ejecución del ejercicio la articulación recorre todos los grados de movimiento posible se denomina ROM completo o *full ROM* (fROM), mientras que si solo se recorre parte

del ROM posible, se denomina ROM incompleto, ROM parcial o *partial ROM* (pROM) (Hartmann et al., 2013). Dentro de la bibliografía científica actual, no se realiza una subdivisión de los tipos de pROM, para nuestro estudio, consideramos indispensable establecer mínimo dos categorías dentro del pROM, que serían: el *partial range of motion in shortened position* (pROMs), que consiste en realizar la fase del ROM donde el músculo se encuentra en acortamiento; por otro lado, el *partial range of motion in lengthened position* (pROMl) que sería realizar el pROM solo en la zona de estiramiento muscular.

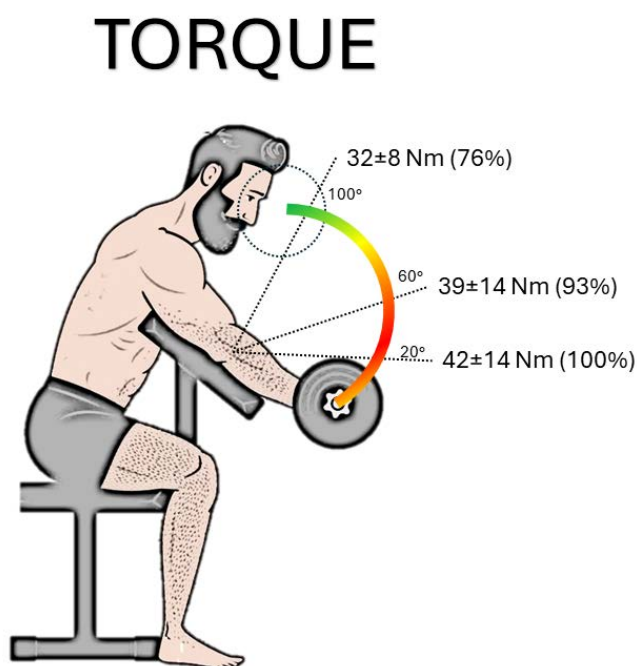


**Figura 3:** Ilustración de los tipos de rango de movimiento. fROM (*full Range Of Motion*); pROMl (*partial Range Of Motion in lengthened position*); pROMs (*partial Range Of Motion in shortened position*).

## 1.8 Definición de torque

Se trata de un concepto de los ámbitos de la física y de la mecánica, conocido también como momento de fuerza, es definido como la **fuerza que tiende a causar rotación sobre un eje**. En el ámbito de las ciencias de la actividad física y el deporte, la palabra torque se usa en el campo de biomecánica articular, donde la definición se mantiene similar “Grado en que una fuerza tiende a girar un objeto sobre un fulcro específico. Se define cuantitativamente como la magnitud de una fuerza multiplicada por la longitud de su brazo de palanca” (Haff & Triplett,

2017, p. 95). Al usarse principalmente en el RT que busca el aumento de la MM ejercicios o medios de acción de gravitacional, cobra especial importancia el brazo de momento ya que la fuerza que genera la carga levantada será constante, por lo que lo que cambiará el torque requerido para vencer la carga será el brazo de momento o distancia de la carga al punto de aplicación de la fuerza.



**Figura 4:** Ilustración del torque articular en un *curl* predicador, valores de fuerza obtenidos de Nunes et al. (2020a).

La capacidad de un músculo de producir fuerza y, por ende, el torque que genera varía a lo largo del ROM de la articulación, como ya demostraron Kulig et al. (1984) donde vieron como los extensores de rodilla aumentaban su producción de fuerza al inicio del ROM para posteriormente reducirla a medida que se llega a la extensión de rodilla. Este comportamiento del músculo se explica gracias a los cambios en la longitud muscular y su capacidad de producción de fuerza en cada una de ellas, este fenómeno se conoce como la relación longitud – tensión (Gordon et al., 1966).

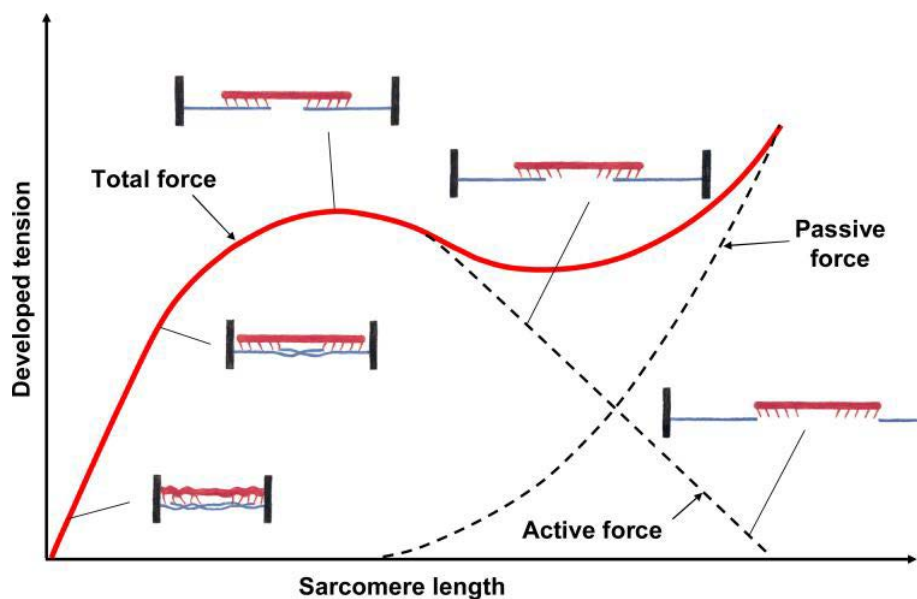


Figura 5: Relación longitud-tensión de un sarcómero (Odegard et al., 2008).

Esta capacidad de generar fuerza del músculo en función del estiramiento-acortamiento muscular, sumado al torque generado por la carga y el brazo de momento, crea el perfil de resistencia del ejercicio, que se refiere a la resistencia a vencer en cada punto del ROM del ejercicio.

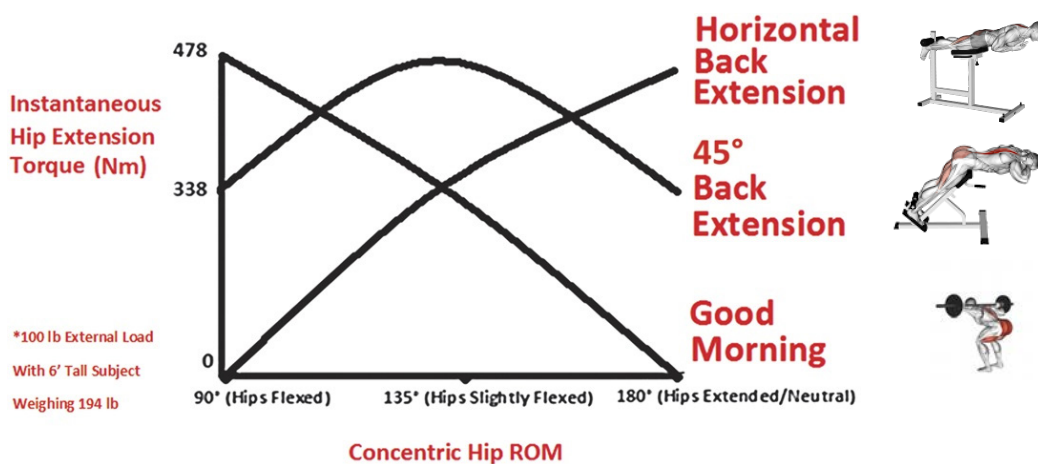


Figura 6: Perfiles de resistencia en ejercicios de extensión de cadera y el torque que generan (Contreras et al., 2013).

## 2. OBJETIVOS DEL TRABAJO FIN DE GRADO

Los objetivos del presente Trabajo Fin de Grado son los siguientes:

- Conocer la influencia de diferentes rangos de movimiento en la ganancia de masa muscular asociada al entrenamiento con cargas.
- Averiguar la influencia del torque en la ganancia de masa muscular asociada al entrenamiento con cargas.
- Estudiar si existe una asociación entre el trabajo en el rango de movimiento de mayor torque y las ganancias de masa muscular.
- Establecer una clasificación de ejercicios que podrían beneficiarse de un uso de rango de movimiento parcial.

### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

Esta revisión sistemática se llevó a cabo siguiendo las directrices del protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Page et al., 2021). La revisión no fue registrada en PROSPERO debido a la existencia previa de un estudio similar que se estaba llevando a cabo, pero que no estaba finalizado, por lo que nuestro trabajo siguió adelante.

#### **3.1 Criterios de elegibilidad**

Para los criterios de elegibilidad de los artículos se siguió el modelo PICOS (*population, intervention, comparators, outcomes, study design*).

##### **3.1.1 Población**

La población seleccionada fueron personas en edad adulta (18 años o más) sin importar su sexo, tampoco se tuvo en cuenta estado socioeconómico, etnia, nacionalidad o procedencia geográfica. Las investigaciones que incluyeron enfermedades o lesiones fueron excluidas.

##### **3.1.2 Intervención**

Las investigaciones que constaban de intervenciones de RT donde se ejercitaba de forma dinámica la musculatura fueron incluidas. Aquella donde la intervención de RT era llevada a cabo por medio de contracciones isométricas fueron descartadas. No se estableció límite superior ni inferior de duración de la intervención. No se excluyeron artículos que no controlasen todos los factores modificables que pueden afectar a la hipertrofia. No se seleccionaron artículos en función del método de medición empleado para medir MM, ni en función del término usado para expresar la misma. Se excluyeron las cartas al editor.

### 3.1.3 Comparadores

Las comparaciones llevadas a cabo son entre grupos que trabajan en fROM o pROM y entre grupos que trabajan diferentes tipos de pROM, en función de si se realiza al inicio del rango (músculo en estiramiento) o al final del rango (músculo en acortamiento). También se estudia la diferencia entre ejercicios donde el punto de mayor toque del ejercicio se encuentre en estiramiento o acortamiento muscular.

### 3.1.4 Resultados

La revisión pretende evaluar los cambios en MM derivados del uso de diferentes ROM en el RT y de la selección de ejercicios con distintos torques. Para ello se permite cualquier método de expresión de la MM (CSA, SMM, FFM, etc.) medida por cualquier método de medición (RMN, DEXA, antropometría, etc.).

### 3.1.5 Diseño de estudio

Esta revisión sistemática incluye artículos de tipo prueba controlada aleatorizada o *randomized controlled trials* (RCTs) de comparación entre grupos o intrasujeto. Además, al no hacerse un tratamiento estadístico de los datos, también se incluyeron revisiones sistemáticas con metaanálisis.

## 3.2 Estrategia de búsqueda e identificación

Para realizar esta revisión sistemática se buscó en las bases de datos de *Pubmed (Medline)* y *Web of Science (WOS)*. En ambos casos se creó una frase de búsqueda adaptada a cada base de datos donde se incluyeron términos referidos a MM, ROM y torque, además de términos excluyentes de palabras clave. En ambos casos se filtraron los artículos dentro de la propia base de datos para seleccionar solamente los estudios realizados en humanos.

Las diferencias entre las frases de búsqueda de las bases de datos se deben a las diferencias en el formato de búsqueda de cada web, pero los términos y booleanos introducidos son los mismos.

Las búsquedas en las bases de datos fueron llevadas a cabo a fecha del 14/11/2023.

### 3.2.1 Frase de búsqueda Pubmed

("hypertrophy"[Title/Abstract] OR "muscle hypertrophy"[Title/Abstract] OR "muscle thickness"[Title/Abstract] OR "muscular size"[Title/Abstract] OR "muscle gain"[Title/Abstract] OR "muscle size"[Title/Abstract] OR "muscle mass"[Title/Abstract] OR "lean mass"[Title/Abstract] OR "lean body mass"[Title/Abstract] OR "appendicular skeletal muscle mass"[Title/Abstract] OR "body lean"[Title/Abstract] OR "body fat free"[Title/Abstract] OR "fat free mass"[Title/Abstract] OR "skeletal muscle mass"[Title/Abstract] OR "regional hypertrophy"[Title/Abstract] OR "cross-sectional area"[Title/Abstract] OR "structural adaptations"[Title/Abstract]) AND ("stretch mediated hypertrophy"[Title/Abstract] OR "partial rep\*"[Title/Abstract] OR "range of movement"[Title/Abstract] OR "range of motion"[Title/Abstract] OR "ROM"[Title/Abstract] OR "moment arm"[Title/Abstract] OR "length-tension relation\*"[Title/Abstract] OR "force-length relation\*"[Title/Abstract] OR "torque"[Title/Abstract]) NOT ("sarcopenia" OR "atroph\*" OR "pathology" OR "injur\*" OR "rehab\*" OR "disab\*" OR "diseas\*" OR "syndrom\*" OR "surger\*" OR "supplement\*" OR "cardi\*" OR "ventricular hypertrophy").

### 3.2.2 Frase de búsqueda WOS

(TI=((("hypertrophy" OR "muscle hypertrophy" OR "muscle thickness" OR "muscular size" OR "muscle gain" OR "muscle size" OR "muscle mass" OR "lean mass" OR "lean body mass" OR "appendicular skeletal muscle mass" OR "body lean" OR "body fat free" OR "fat free mass" OR "skeletal muscle mass" OR "regional hypertrophy" OR "cross-sectional area") AND ("stretch mediated hypertrophy" OR "partial rep\*" OR "range of movement" OR "range of motion" OR "ROM" OR "moment arm" OR "length-tension relation\*" OR "force-length relation\*" OR "torque"))) AND TS=((humans OR men OR women OR person)) NOT TS=((("sarcopenia" OR "atroph\*" OR "pathology" OR "injur\*" OR "rehab\*" OR "disab\*" OR "diseas\*" OR "syndrom\*" OR "surger\*" OR "supplement\*" OR "cardi\*" OR "ventricular hypertrophy")))) OR (AB=((("hypertrophy" OR "muscle hypertrophy" OR "muscle thickness" OR

## Efectos del rango de movimiento y el torque sobre la hipertrofia muscular. Revisión sistemática.

“muscular size” OR “muscle gain” OR “muscle size” OR “muscle mass” OR “lean mass” OR “lean body mass” OR “appendicular skeletal muscle mass” OR “body lean” OR “body fat free” OR “fat free mass” OR “skeletal muscle mass” OR “regional hypertrophy” OR “cross-sectional area”) AND (“stretch mediated hypertrophy” OR “partial rep\*” OR “range of movement” OR “range of motion” OR “ROM” OR “moment arm” OR “length-tension relation\*” OR “force-length relation\*” OR “torque”)) AND TS=((humans OR men OR women OR person)) NOT TS=((“sarcopenia” OR “atroph\*” OR “pathology” OR “injur\*” OR “rehab\*” OR “disab\*” OR “diseas\*” OR “syndrom\*” OR “surger\*” OR “supplement\*” OR “cardi\*” OR “ventricular hypertrophy”))).

### 3.2.3 Revisión de resultados

Todos los resultados devueltos por la base de datos fueron importados a EndNote 20 (Clarivate, USA) y procesados en Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, USA). Tras la eliminación de duplicados se revisaron título y *abstract* de los resultados. Las referencias no eliminadas fueron sometidas a una segunda revisión donde se incluyó el texto completo.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Características del estudio

Un total de 1187 artículos fueron extraídos de las bases de datos (Figura 7). A su vez, otros 7 artículos fueron incluidos a la revisión por otras vías (búsqueda de citas). Los artículos extraídos de las bases de datos pasaron por eliminación de duplicados, quedando 800 artículos para revisión de título y *abstract*, esta revisión resultó en la selección de 15 artículos. Estos artículos pasaron posteriormente por revisión de texto completo, resultando en 11 artículos seleccionados para el análisis cualitativo. Por su parte, los artículos incluidos por otras vías también pasaron por eliminación de duplicados, revisión de título y *abstract*, siendo todos ellos seleccionables por estos dos criterios y manteniendo su número en 7, tras la revisión de texto completo este número se redujo a 6 artículos seleccionables.

Sumando ambos procesos, se obtiene un total de 17 referencias incluidas para la revisión sistemática.

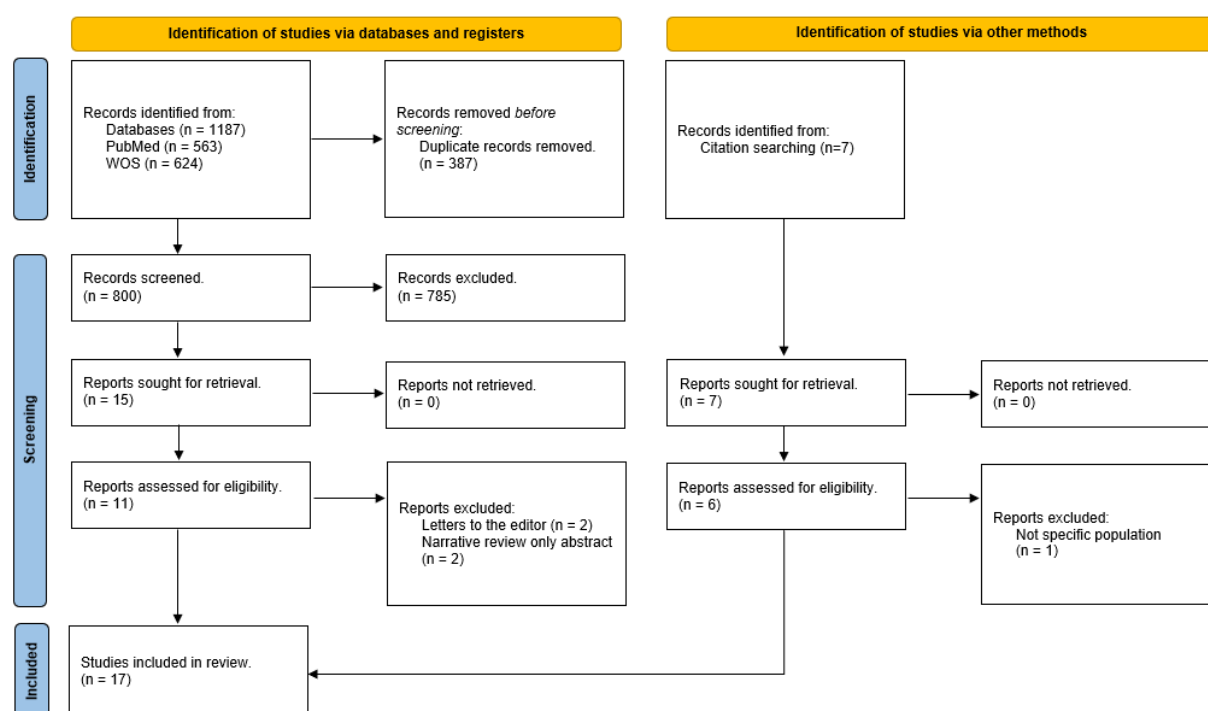


Figura 7: Diagrama de flujo PRISMA.

Efectos del rango de movimiento y el torque sobre la hipertrofia muscular. Revisión sistemática.

Los detalles y resultados de los 17 artículos incluidos en la revisión se reflejan en la **tabla 1**.

**Tabla 1:** Características principales y resultados de los artículos incluidos en la revisión.

Estudio	Tipo de estudio y diseño	Población	Duración y frecuencia	Grupos musculares y ejercicios	ROM	Torque	Medición de hipertrofia	Resultados
(Bloomquist et al., 2013)	RCT	17 hombres jóvenes no entrenados	12 semanas, 3 días por semana	Extensores de rodilla; sentadilla; 3-4 sets 3-10 reps	fROM ( <i>deep squat</i> ) vs pROMs ( <i>shallow squat</i> )	-	CSA por RMN	CSA aumenta más en fROM. fROM → ↑MM
(Goto et al., 2019)	RCT	44 hombres jóvenes entrenados	8 semanas, 3 días por semana	Extensores de codo; press francés; 3 sets de 8 reps	fROM vs pROMI	-	Grosor muscular por ultrasonido. CSA calculado como el resultado de grosor muscular y circunferencia de brazo	pROMI aumenta más el CSA del triceps braquial que el fROM. pROMI → ↑MM
(Kassiano et al., 2023a)	RCT	42 mujeres jóvenes no entrenadas	8 semanas, 3 días por semana	Gastrocnemios; extensión de tobillo en prensa horizontal ( <i>calf raise</i> ); 3 sets de	Initial pROMI vs Final pROMs vs fROM	-	Grosor muscular por ultrasonido	Initial pROMI induce más hipertrofia que fROM que a su vez produce más que Final pROMs. pROMI → ↑MM

Efectos del rango de movimiento y el torque sobre la hipertrofia muscular. Revisión sistemática.

				15-20 reps al fallo muscular				
(Kassiano et al., 2023b)	Revisión sistemática y Metaanálisis	-	-	-	-	-	-	pROMI conlleva mayor crecimiento muscular que fROM, mientras que pROMs conlleva menor crecimiento muscular que fROM.  pROMI → ↑MM
(Kubo et al., 2019)	RCT	17 hombres jóvenes no entrenados	10 semanas, 2 días por semana	Cuádriceps, isquiosurales, aductores y gluteo mayor; sentadilla; 3 sets de 8-10 reps a 60-90% 1RM	fROM ( <i>deep squat</i> ) vs pROMs ( <i>half squat</i> )	-	RMN	Similares mejoras en los vastos del cuádriceps. Mayor volumen de aductores y gluteo mayor en el fROM.  fROM → ↑MM
(Maeo et al., 2021)	RCT	20 hombres jóvenes no entrenados	12 semanas, 2 días por semana	Isquiosurales; <i>curl</i> de Isquios sentado vs tumbado unilaterales; 5 sets por 10 reps al 50-70% 1RM	fROMI ( <i>curl</i> sentado) vs fROMs ( <i>curl</i> tumbado)	-	CSA por RMN	Mayor hipertrofia muscular de isquiosurales biarticulares en <i>curl</i> sentado que en tumbado.  fROMI → ↑MM

Efectos del rango de movimiento y el torque sobre la hipertrofia muscular. Revisión sistemática.

(McMahon et al., 2014b)	RCT	26 hombres y mujeres jóvenes no entrenados	8 semanas, 3 días por semana	Extensores de rodilla; máquina extensora de rodilla; 3 sets de 10 reps al 80% 1RM	fROM ( <i>long ROM</i> ) vs pROMs ( <i>short ROM</i> )	-	CSA por RMN	fROM resultó en mayor CSA en los puntos de medición distal y proximal, en el punto medio no hubo diferencias significativas.  fROM → ↑MM
(Nunes et al., 2020a)	RCT	35 hombres y mujeres jóvenes no entrenados	10 semanas, 3 días por semana	Bíceps braquial; <i>curl</i> predicador con barra vs con polea; 3 sets de 8-12 reps	-	Torque en estiramiento ( <i>curl</i> con barra) vs torque en acortamiento ( <i>curl</i> con polea)	Grosor muscular por ultrasonido	No se encuentran diferencias significativas en la hipertrofia del bíceps braquial entre grupos.  Torque → =MM
(Pallarés et al., 2021)	Revisión sistemática y Metaanálisis	-	-	-	-	-	-	fROM más efectivo que pROM para maximizar fuerza e hipertrofia del tren inferior.  fROM → ↑MM
(Pedrosa et al., 2022)	RCT	45 mujeres jóvenes no entrenadas	12 semanas, 3 días por semana	Extensores de rodilla; máquina extensora de rodilla; 3-6 sets de 7 reps al 60% 1RM	Initial pROMI vs Final pROMs vs fROM vs Variable pROM	-	CSA del recto femoral y vasto lateral por ultrasonidos	Initial pROMI y Variable pROM inducen mayor hipertrofia, final pROMs es la que menor hipertrofia produce.  pROMI → ↑MM

Efectos del rango de movimiento y el torque sobre la hipertrofia muscular. Revisión sistemática.

(Pedrosa et al., 2023)	RCT	21 mujeres jóvenes no entrenadas	8 semanas, 3 días por semana	Bíceps braquial; <i>curl</i> predicador con mancuerna; 4 sets al fallo muscular	Initial pROMI vs Final pROMs	-	CSA por ultrasonido	El Initial pROMI produjo una mayor hipertrofia distal que el Final pROMs, pero no se encontraron diferencias significativas ni en la hipertrofia en el punto medio del bíceps braquial ni en la suma de CSAs.  pROMI → ↑MM
(Pinto et al., 2012)	RCT	30 hombres jóvenes no entrenados	10 semanas, 2 días por semana	Flexores de codo; <i>curl</i> predicador; 2-4 sets, de 20RM a 8RM	fROM vs pROMs	-	Grosor muscular por ultrasonido	Mayor grosor muscular en ambos grupos, mayor en fROM.  fROM → ↑MM
(Sato et al., 2021)	RCT	32 hombres y mujeres jóvenes no entrenados	5 semanas, 2 días por semana	Flexores de codo; <i>curl</i> predicador con mancuerna; 3 sets de 10 reps	Final pROMs vs Initial pROMI	-	Grosor muscular por ultrasonido	Initial pROMI generó mayor grosor muscular distal, mientras que en medial y proximal las mejoras fueron similares.  pROMI → ↑MM
(Schoenfeld & Grgic, 2020)	Revisión sistemática y Metaanálisis	-	-	-	-	-	-	Mayores beneficios para la hipertrofia del tren inferior con fROM que con pROM. Indefinido para tren superior.  fROM → ↑MM

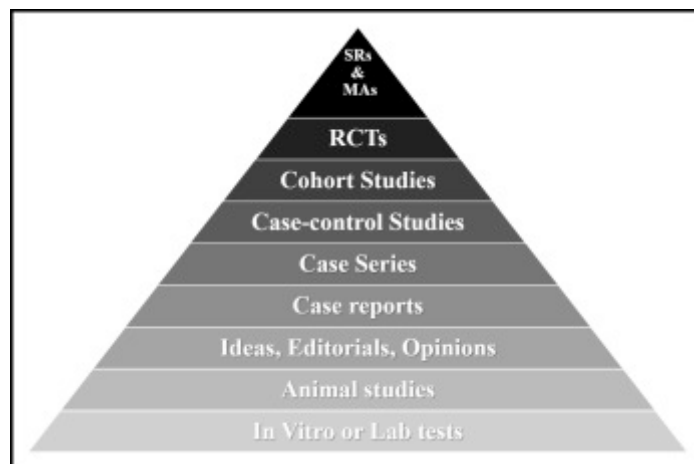
Efectos del rango de movimiento y el torque sobre la hipertrofia muscular. Revisión sistemática.

(Valamatos et al., 2018)	RCT	19 hombres jóvenes no entrenados	15 semanas, 3 días por semana	Extensores de rodillas; máquina isocinética extensora de rodilla; 2-7 sets de 6-15 reps	pROMs vs fROM	-	CSA por RMN y ultrasonido	Volumen del vasto lateral se incrementa de forma similar en ambas condiciones.  ROM → =MM
(Wolf et al., 2023)	Revisión sistemática y Metaanálisis	-	-	-	-	-	-	fROM supera a pROM en los parámetros estudiados, pero con diferencias muy pequeñas. Posibilidad de uso de diferentes ROM en función de objetivo.  fROM → ↑MM
(Zabaleta-Korta et al., 2023)	RCT	31 mujeres jóvenes con experiencia de RT	9 semanas, 3 días por semana	Bíceps braquial; <i>curl</i> de bíceps inclinado con mancuerna vs <i>curl</i> predicador con mancuerna; 4 sets 12 reps al fallo muscular	Initial pROMI ( <i>curl</i> predicador con mancuerna) vs Initial pROMI ( <i>curl</i> de bíceps inclinado con mancuerna)	Torque en estiramiento ( <i>curl</i> predicador con mancuerna) vs torque en acortamiento ( <i>curl</i> de bíceps inclinado con mancuerna)	Grosor muscular por ultrasonido	El torque en estiramiento produjo una mayor hipertrofia distal del bíceps braquial que el torque en acortamiento.  Torque estiramiento → ↑MM

Abreviaturas: CSA = Cross-Sectional Area; fROM = full Range Of Motion; fROMI = full Range Of Motion in lengthened position; fROMs = full Range Of Motion in shortened position; MM = Muscle Mass; pROM = partial Range Of Motion; pROMI = partial Range Of Motion in lengthened position; pROMs = partial Range Of Motion in shortened position; RCT = Randomized Controlled Trial; RMN = Resonancia Magnética Nuclear; ROM = Range Of Motion.

## 4.2 Nivel de evidencia y calidad de los estudios

Dentro de la bibliografía científica los diferentes tipos de estudios suponen diferentes niveles de fiabilidad de sus resultados y conclusiones. Para establecer una jerarquía entre diferentes tipos de estudios se crea la pirámide de la evidencia científica (**figura 8**) (Mulimani, 2017).



**Figura 8:** Pirámide de la evidencia científica (Mulimani, 2017).

Abreviaturas: MAs = *meta-analysis*; RCTs = *randomized controlled trials*; SRs = *systematic review*

Como se puede observar en la **figura 8**, los estudios de mayor fiabilidad son las revisiones sistemáticas con metaanálisis, dentro de nuestra revisión encontramos cuatro artículos de este tipo por los que serán a los que más validez daremos a la hora de aportar conclusiones. Por otro lado, en un segundo escalón, encontramos los estudios de tipo RCT o prueba controlada aleatorizada, estudios en los cuales se analiza los cambios en una variable independiente o variable estudiada, que es modificada por la intervención en cuestión. Para determinar la fiabilidad de cada uno de los estos estudios, existen escalas para otorgar diferente fiabilidad a estudios de un mismo tipo y categoría dentro de la pirámide de la evidencia científica. En nuestro caso hemos usado la escala PEDro de la *Physiotherapy Evidence Database*, escala que analiza 11 variables sobre los estudios, otorgando una puntuación entre 0 y 10, a mayor puntuación mayor valides. Los resultados de los artículos incluidos en la revisión al ser pasados por la escala PEDro pueden ser observados en la **tabla 2**:

Efectos del rango de movimiento y el torque sobre la hipertrofia muscular. Revisión sistemática.

Tabla 2: Validez de los RCTs según la escala PEDro (*Physiotherapy Evidence Database*).

Estudio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
(Bloomquist et al., 2013)	Sí	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
(Goto et al., 2019)	Sí	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
(Kassiano et al., 2023a)	Sí	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
(Kubo et al., 2019)	No	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	6
(Maeo et al., 2021)	Sí	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
(McMahon et al., 2014b)	Sí	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
(Nunes et al., 2020a)	Sí	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
(Pedrosa et al., 2022)	Sí	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
(Pedrosa et al., 2023)	Sí	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
(Pinto et al., 2012)	Sí	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	5
(Sato et al., 2021)	Sí	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
(Valamatos et al., 2018)	Sí	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
(Zabaleta-Korta et al., 2023)	Sí	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7

## 5. DISCUSIÓN

El objetivo general del trabajo es entender cómo las variables de entrenamiento ROM y torque afectan a la hipertrofia muscular. Para nuestro estudio, cómo se mencionó en la introducción y se refleja en la tabla de resultados, hemos subdividido el pROM en pROMI, cuando el pROM se realiza en la zona de estiramiento muscular y en pROMs, cuando se realiza en la zona donde el músculo se encuentra más acortado.

### 5.1 Respuesta de la hipertrofia frente a las variaciones en el ROM

Tras analizar los 11 estudios y 4 revisiones que hacen referencia al ROM incluidos en nuestra revisión, podemos ver como el ROM usado durante el RT puede tener implicación directa en la hipertrofia y ganancia de MM que éste genera. Lo primero que salta a la vista al observar los estudios es que no hay un patrón común de comparativa. Con esto nos referimos a que todos los estudios comparan un mismo grupo muscular, un mismo ejercicio o ni siquiera un mismo tipo de ROM. Esta heterogeneidad en las intervenciones hace que pueda ser difícil sacar conclusiones generales aplicables a diversas situaciones, el único parámetro común a casi todos los estudios es el uso de sujetos no entrenados. Por lo demás, se estudian músculos diferentes, en ejercicios diferentes y sobre todo, lo más importante, con comparativas de ROM muy variadas entre grupos. Es por esto que cabe preguntarnos si todos los pROM que se pueden ejecutar en un mismo ejercicio son iguales y si, por ende, todos los estudios que comparan pROM con fROM pueden ser analizados por igual o si bien, como nosotros consideramos, no es lo mismo ejecutar un pROMs que un pROMI.

Posiblemente sea esta diferencia en los tipos de pROM, lo que lleva a algunas revisiones sistemáticas, especialmente aquellas que estudian más parámetros derivados del entrenamiento que la hipertrofia, como, por ejemplo, la fuerza, a afirmar que es mejor ejecutar fROM a pROM (Pallarés et al., 2021; Wolf et al., 2023). Por otro lado, la revisión de Kassiano et al. (2023), que se centra solo en los resultados de hipertrofia, concluye que si bien el fROM aventaja al pROMs, es posible que algunos músculos, tales como el cuádriceps y el bíceps braquial, se vean beneficiados de un pROMI para producir sus mejoras de MM óptimas, realizándose para ello la parte inicial de un ejercicio donde el músculo esté en estiramiento y realizándose solo la parte inicial del ROM (Kassiano et al., 2023b).

Esta diferente clasificación del pROM en pROMI y pROMs también explicaría las diferencias de resultados entre diversos RCTs, donde los resultados de varios estudios favorecen el fROM

frente al pROMs (Bloomquist et al., 2013; Kassiano et al., 2023a; Kubo et al., 2019; McMahon et al., 2014b; Pedrosa et al., 2022; Pinto et al., 2012). Mientras que otro grupo de estudios obtienen mayor hipertrofia en el grupo de pROMI que en el de fROM (Goto et al., 2019; Kassiano et al., 2023a; Pedrosa et al., 2022). Por su parte, cuando la comparativa es pROMI frente a pROMs, todos los estudios que analizan dicha comparativa reportan mayores resultados de hipertrofia en el grupo que realiza pROMI (Kassiano et al., 2023a; Pedrosa et al., 2022; Pedrosa et al., 2023; Sato et al., 2021).

Como se puede observar también, casi todos los estudios han sido realizados en los últimos 10 años, lo que implica que es un tema de estudio en pleno auge. Por ello las primeras revisiones al respecto como las de Schoenfeld y Grgic (2020) o Pallares et al. (2021) dejan fuera gran parte de los estudios que incluyen pROMI en la comparativa, debido a que ha sido un parámetro incluido en la comparativa en los años más recientes (Kassiano et al., 2023b; Pedrosa et al., 2022; Pedrosa et al., 2023; Sato et al., 2021) y es por ello que dichas revisiones determinan que el fROM es superior al pROM (Pallarés et al., 2021; Schoenfeld & Grgic, 2020) ya que no se refleja que, generalmente, ese pROM sea en acortamiento.

Por todo ello debemos realizar un nuevo análisis comparativo de los estudios teniendo en cuenta ahora las diferencias de los pROM, subdividiéndolos en pROMs y pROMI. En todas las comparaciones, tanto con pROMI como con fROM, el pROMs obtiene siempre peores resultados de mejora de la hipertrofia en comparación con los grupos que utilizan otro ROM, a excepción del estudio de Valamatos et al. (2018), en el que los grupos de fROM y pROMs obtuvieron resultados de hipertrofia similares (Valamatos et al., 2018).

Cuando la comparación es entre pROMI y fROM, en general, sale favorecido el pROMI obteniéndose mayores resultados de hipertrofia en el grupo de pROMI (Goto et al., 2019; Kassiano et al., 2023a; Pedrosa et al., 2022). Al ser solo tres estudios los que analizan este tipo de comparativa, no podemos afirmar que esto siempre vaya a ser así, pero se observa una tendencia según la cual cuanto más se estire el músculo durante el RT, más se hipertrofia, ya que, como hemos visto, el pROMs es el ROM que menor hipertrofia produce, mientras que, el pROMI sería el que más, encontrándose entonces el fROM entre ambos. Esto podría encontrar su explicación con los mecanismos de la hipertrofia (Schoenfeld, 2010) ya que un mayor tiempo en estiramiento podría derivar en una mayor tensión mecánica, que es el principal mecanismo para inducir hipertrofia.

En esta línea del estiramiento muscular como método para aumentar hipertrofia, son ya varios los estudios que han utilizado estiramientos pasivos como método para aumentar la MM, es el efecto conocido como *stretch-mediated hypertrophy* (SMH). Este método consiste en realizar estiramientos pasivos sostenidos en el tiempo, realizándose un estiramiento muscular que puede llegar a producir hipertrofia (Nunes et al., 2020b; Warneke et al., 2022; Warneke et al., 2023). Como nos indica la bibliografía, para que se produzca hipertrofia mediante el estiramiento, este estiramiento debe ser intenso, casi hasta doloroso, porque debe producir una gran tensión muscular (Muanjai et al., 2017). Esta tensión muscular en el estiramiento podría venir dada por una resistencia externa, como se podría producir en un ejercicio de RT realizado con pROMI, donde el músculo se encuentra estirado, y además una resistencia busca estirarlo continuamente. Estos estiramientos con resistencia externa también se han puesto a prueba dentro del RT (Van Every et al., 2022), resultando en un ligero mayor aumento del CSA en el grupo que realizaba estiramientos lastrados al acabar la serie de tríceps sural, frente al que realizaba la serie estricta de RT. En este caso, la explicación de la mejora podría venir dada por el mayor TUT, aunque éste también implica mayor volumen de entrenamiento real. Toda esta relación del estiramiento muscular y la tensión mecánica que genera hipertrofia tiene también implicación directa con la cascada de respuesta hormonal que genera, ya que el estímulo mecánico creado por el estiramiento genera una activación genética de producción muscular del factor de crecimiento insulínico tipo 1 o *insulin-like growth factor 1* (IGF1) (Goldspink, 1999). La activación de la producción de este factor hormonal, IGF1, tanto a nivel del hígado como, sobre todo, durante el ejercicio, a nivel muscular (Goldspink, 1999), desencadena la formación de la hormona de crecimiento o *growth hormone* (GH). Juntas la GH y el IGF1 controlan el normal crecimiento de los tejidos corporales y, por tanto, de la MM que se genera en el RT. Se ha observado también que este incremento de la IGF1 asociado al RT está especialmente relacionado con el estiramiento muscular, llegando a producirse tres veces más de IGF1 en intervenciones de pROMI que en las de pROMs (McMahon et al., 2014a). Por ello, cabe pensar que, si un tipo de RT conlleva una mayor respuesta hormonal asociada a la hipertrofia, sería interesante incluir más este tipo de ejercicios, o parte del ROM, dentro de las rutinas que busquen aumentar la MM.

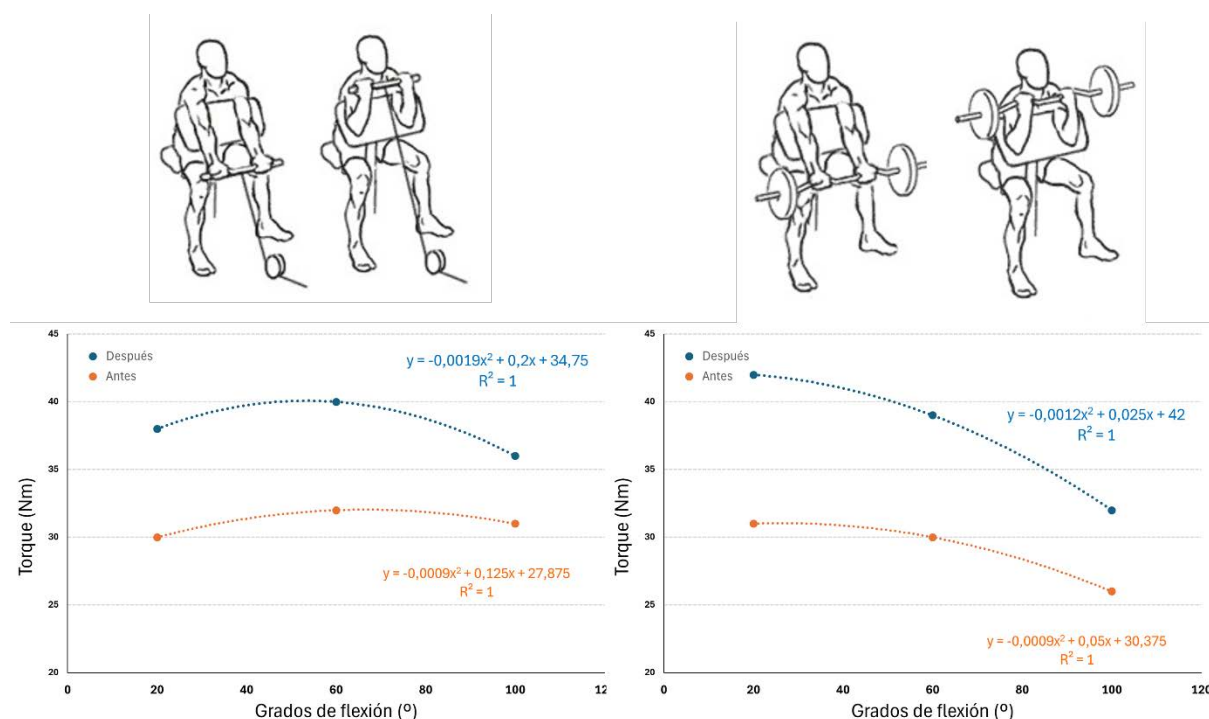
Todo este énfasis en la hipertrofia por estiramiento muscular durante el RT también se ve reflejado en el artículo de Maeo et al. (2021), incluido en nuestra revisión, donde, a un mismo

tipo de ROM, fROM, para un mismo grupo muscular, se produce una mayor hipertrofia en el ejercicio donde se lleva al músculo a un estiramiento mayor. Este artículo es especialmente interesante ya que, en primer lugar, la intervención se realiza intrasujeto, lo que evita las diferencias que puedan existir entre los sujetos asignados a diferentes grupos. Pero, además, nos sirve como ejemplo de la diferencia entre ROM del ejercicio y ROM muscular. El ROM del ejercicio es todo el rango de movimiento por el que se pasa al ejecutar un fROM en un ejercicio dado, mientras que el ROM muscular es el rango articular en el que el músculo sufre una contracción para crear movimiento. El ROM de un ejercicio y el ROM muscular pueden ser el mismo, pero esto no tiene por qué siempre ser así, puede haber ejercicios donde el fROM sea solo una parte del ROM muscular, como sucede en el estudio de Maeo et al. (2021). En ambos ejercicios del estudio (*curl* de isquios sentado y *curl* de isquios tumbado) se realiza el ejercicio unilateralmente con fROM pero, al ser diferentes los grados de flexión de cadera, el estiramiento inicial al que se expone a la musculatura isquiosural es diferente en cada ejercicio, por lo que, a nuestro juicio, habría que diferenciar entre *full range of motion in shortened position* (fROMs) y *full range of motion in lengthened position* (fROMl). En el estudio se obtuvo como resultado que los músculos isquiosurales biarticulares (semimembranoso, semitendinoso y cabeza larga del bíceps femoral), aquellos que se ven afectados en el cambio de longitud muscular por la flexión de cadera, hipertrofiaban más en el *curl* femoral sentado o fROMl (Maeo et al., 2021), siendo esto una prueba más de que el trabajo con resistencias en estiramiento muscular conlleva un mayor aumento de la MM. En esta misma línea, un reciente artículo, aún pendiente de revisión, de Larsen et al. (2024) comparan un fROMl con fROMs. En este caso, en la musculatura del cuádriceps durante una extensión de rodilla en máquina, para modificar la longitud muscular del recto femoral (parte biarticular del cuádriceps), se cambian los grados de flexión de cadera. Al igual que en el estudio de Maeo et al. (2021), la musculatura biarticular, en este caso el recto femoral, sufre un mayor incremento de la MM en el grupo que trabaja con fROMl (Larsen et al., 2024), reforzando la evidencia de que el estiramiento muscular durante el RT es una de las claves para maximizar la hipertrofia cuando se modifica la variable del ROM.

## 5.2 Respuesta de la hipertrofia a los diferentes torques

Nuestros resultados respecto a cómo afecta el torque al aumento de la MM son escasos ya que nuestra búsqueda solo obtuvo dos artículos que trataran sobre este tema y, además, los resultados entre ellos no concuerdan, no indicándose así una línea clara de una posible tendencia respecto al torque y la hipertrofia. Por suerte, ambos estudios estudian el bíceps braquial como músculo objetivo de medición de la hipertrofia y ambos cuantifican la MM por medición del grosor muscular con ultrasonido, por lo que podemos comparar los resultados entre grupos.

En el estudio de Nunes et al. (2020a) se realiza el mismo ejercicio, *curl* predicador, pero cambiando una carga gravitacional (mancuerna) por una polea de carga fija. Esto hace que el mayor torque se encuentre al inicio en el caso de la mancuerna y en el punto medio en el caso de la polea, resultando pues un perfil de resistencia curvilíneo con el punto más alto en el medio en el caso de la polea y curvilíneo descendente en el caso de la ejecución con barra.



**Figura 9:** Perfiles de resistencia del *curl* predicador ejecutado en el estudio de Nunes et al. (2020a), representados con el torque obtenido en diferentes grados de flexión articular.

Al realizar un fROM en la ejecución de ambos ejercicios, en ambos casos se pasa por el estiramiento muscular y en ambos casos se pasa por la zona donde el torque es máximo.

Por otro lado, en el estudio de Zabaleta et al. (2023) se comparan dos ejercicios diferentes que de por sí tienen perfiles de resistencia diferente, en este caso, el grupo de *curl* predicador realizaba un pROMI que pasa tanto por el estiramiento muscular como por la zona de mayor torque. Mientras que el grupo de *curl* de bíceps en banco inclinado al realizar un pROMI sí pasa por estiramiento muscular, pero apenas pasa por su zona de mayor torque, ya que esta zona se encuentra cuando el antebrazo se encuentra entorno a los 90° de flexión, punto en el cual se corta el ROM e inicia la fase excéntrica.

Tras analizar los grupos de participantes de ambos estudios, vemos como, los que realizaban el ejercicio pasando por la zona de mayor torque, generaban un aumento significativo de la MM comparado con los resultados preintervención y que el único grupo que no generaba diferencias significativas tras la intervención es el grupo que no aprovechaba todo el ROM donde se da el máximo torque.

Esto induce a pensar que, si bien no podemos decir si la posición del torque dentro de la longitud muscular afecta a la hipertrofia, sí es clave que se pase por la zona donde el torque es mayor para generar hipertrofia. Se requiere de más investigación que indague si la posición del torque respecto a la longitud muscular tiene efectos sobre la hipertrofia.

### **5.3 Relación entre torque, ROM e hipertrofia**

Como hemos visto en los apartados anteriores, las variables del entrenamiento ROM y torque, tienen influencia en la hipertrofia asociada al RT, además, podrían tener un efecto interactivo entre ellos, como explicaremos a continuación. La posible relación entre ambas variables salta rápidamente a la vista, ya que, si es clave para hipertrofia que durante la ejecución del ejercicio se pase por el punto de mayor torque o resistencia, será imprescindible que el ROM seleccionado para dicho ejercicio, incluya el tramo del ROM donde se produce ese mayor torque. En este sentido, el torque y los beneficios que éste puede inducir a la hipertrofia muscular se ven directamente afectados por el ROM con el que se ejecuta el ejercicio.

Por otro lado, los efectos del ROM sobre la hipertrofia se ven realmente afectados el ROM incluye o no el rango de estiramiento muscular. Es por ello que, en los ejercicios donde el mayor torque se encuentre en el acortamiento muscular, o lo que es lo mismo, con un perfil de resistencia ascendente, como pueden ser unas elevaciones laterales con mancuernas, se

deberá implementar un fROM, para cumplir con el paso por la zona de mayor resistencia y además pasar por el estiramiento muscular.

Podemos encontrar la zona de mayor torque en otros dos puntos del ROM (**figura 6**), al inicio, con el estiramiento muscular, lo que correspondería con un perfil de resistencia ascendente y en la zona media, donde el músculo es capaz de producir más fuerza (**figura 5**), correspondiente a un perfil de resistencia curvilíneo. A día de hoy no podemos determinar que uno sea superior al otro en cuanto a la hipertrofia que generan, por tanto, no podemos establecer una prioridad entre ellos en la selección de ejercicios de la rutina de RT. Si bien, sí podemos decir que, en el caso de ser un perfil de resistencia curvilíneo, se deberá realizar un fROM -o, por lo menos, un ROM- que llegue desde el estiramiento muscular hasta la zona de mayor torque incluyéndola (Zabaleta-Korta et al., 2023), lo que sería un pROMI bastante largo, ya que solo sería eliminar la fase final del ROM, como realizan algunos de los estudios analizados (Kassiano et al., 2023a; Pedrosa et al., 2022). Por su parte, un torque inicial o perfil de resistencia descendente sería el ejercicio ideal para realizar un pROMI, ya que coinciden el estiramiento muscular con la zona de mayor torque, esto podría inducir a una mayor hipertrofia al aumentar la tensión mecánica a la que se somete al músculo, como sucede en los estudios analizados que usan pROMI en el ejercicio de *curl* predicador con carga gravitacional (Pedrosa et al., 2023; Sato et al., 2021). Habría que estudiar si, para este perfil de resistencia, un pROMI supone una mayor hipertrofia que un fROM, ya que las comparaciones actuales son entre pROMI y pROMs (Pedrosa et al., 2023; Sato et al., 2021). Para ello se debería igualar el TUT y ver si realmente esa posible mayor tensión mecánica derivada del trabajo en torno al mayor torque y estiramiento muscular resulta en una mayor hipertrofia muscular. Si ya el pROMI parece poder batir al fROM en ejercicios de perfil de resistencia curvilíneo (Kassiano et al., 2023a; Pedrosa et al., 2022), cabe esperar que desplazar el torque al estiramiento muscular, como sucede en los ejercicios de perfil de resistencia descendente, genere aún mayores diferencias significativas en los resultados de ganancia de MM.

## 5.4 Ejercicios potencialmente beneficiados por un ROM específico

El uso de ROM específico dependerá del objetivo con el que se ejecute el ejercicio. Por ejemplo para los parámetros como la fuerza y sus diferentes manifestaciones, parece ser más beneficioso un uso del fROM que de pROM (Pallarés et al., 2021; Wolf et al., 2023). El uso de este fROM también es más beneficioso en el rendimiento deportivo y en la prevención o limitación de lesiones (Martínez-Cava et al., 2022; Pallarés et al., 2020).

Por su parte, la recuperación de lesiones o tratamiento de patologías, como el dolor de espalda crónico, sí se pueden ver beneficiadas por el uso de pROM en los rangos de no dolor (Steele et al., 2013). Este trabajo de pROM puede ayudar también a mejorar la fuerza en todo el ROM, pese a que solo se trabaje en algunas partes del mismo (Graves et al., 1992). Si bien, estas mejoras de fuerza que se dan en puntos del ROM que no se trabajan específicamente son inferiores a las que se podrían producir si se realizase el trabajo en esa parte del ROM en concreto (Graves et al., 1989), ya que las adaptaciones de fuerza son específicas. Por ello, si se quisiera aumentar la fuerza específicamente en un punto concreto del ROM, como podría ser el caso de un gesto deportivo, podría tener cabida el trabajo isotónico en dicha zona del ROM (Graves et al., 1989).

Con respecto a la hipertrofia, el uso de un fROM nos asegura la posibilidad de conseguir un aumento de MM ya que, en este tipo de ROM, se dan las dos pautas que hemos establecido como necesarias para que ROM y torque produzcan el máximo de hipertrofia: llegar al estiramiento muscular y pasar por el punto de mayor torque en el ejercicio. Por los estudios que analizan pROMs (Bloomquist et al., 2013; Kassiano et al., 2023a; Kubo et al., 2019; McMahon et al., 2014b; Pedrosa et al., 2022; Pinto et al., 2012) no parece haber ningún beneficio de realizar un pROMs cuando se busca maximizar la hipertrofia. Habría que ver si, en un ejercicio con un perfil de resistencia ascendente con gran diferencia de fuerzas inicial y final, donde el máximo torque se encuentre muy marcado en la parte final del ROM, podría tener interés realizar un pROMs para aumentar la tensión mecánica, debido a las gran diferencia de fuerzas requeridas en los puntos del ROM. A diferencia del pROMs, sí se ve beneficio de realizar pROMI cuando se busca generar hipertrofia (Goto et al., 2019; Kassiano et al., 2023a; Pedrosa et al., 2022), por lo que el uso de este tipo de ROM puede tener sentido en ejercicios con un perfil de resistencia descendente, donde la resistencia es mayor al inicio

del recorrido y el músculo se encuentra en un mayor elongamiento. Realizar las series con un pROMI en este tipo de situaciones parece tener beneficios para optimizar la hipertrofia, debido a las características musculares (estiramiento muscular) y del ejercicio. Al realizar el ejercicio de esta forma se genera más TUT en el punto de mayor tensión y, por ende, mayor tensión mecánica. Además, al ser un perfil de resistencia descendente, el fallo muscular se daría al inicio del movimiento, lo que nos facilita saber si el RIR deseado se ajusta más al fallo muscular real, ya que no solo es claro que no se puede completar el ROM, si no que, además, el punto de mayor demanda o torque se produce en un punto donde la producción de fuerza muscular es media-alta (**figura 5**). Esto difiere en los ejercicios con perfil de resistencia ascendente, donde el punto de mayor demanda se produce en acortamiento muscular, donde la capacidad de producción de fuerza muscular es menor (**figura 5**), por ello, es posible que, en estos ejercicios de perfil de resistencia ascendente, se deban realizar repeticiones parciales a medida que no se puede completar el fROM, para asegurar que la cercanía al fallo muscular total sea real. Esta relación de producción de fuerza y, por tanto, de fatiga muscular, puede tener relación con las diferencias de hipertrofia que se observan entre los estudios que analizan pROMs y pROMI (Kassiano et al., 2023a; Pedrosa et al., 2022; Pedrosa et al., 2023; Sato et al., 2021) resultando siempre en mayor hipertrofia el grupo de estiramiento, el cual, atendiendo a la capacidad de producción de fuerza muscular en función del estiramiento sarcomérico (**figura 5**) estaría trabajando usando una mayor capacidad muscular y, por tanto, el fallo en el ejercicio podría guardar más relación con el fallo muscular.

## **5.5 Limitaciones**

El conjunto actual de evidencia científica sobre las implicaciones ROM y torque en la hipertrofia presenta algunas limitaciones que requieren ser abordadas.

En primer lugar, la mayor parte de sujetos incluidos en los estudios de la revisión era hombres jóvenes no entrenados, por lo que los hallazgos no pueden ser generalizados a otras poblaciones como mujeres, ancianos y, sobre todo, sujetos entrenados, en los que es posible que la respuesta al estímulo del estiramiento muscular fuese distinta ya que la respuesta epigenética al RT depende del nivel de entrenamiento del sujeto (Bagley et al., 2020).

En segundo lugar, respecto a una de las variables analizadas, torque, el limitante fue los pocos estudios previos que hacían alusión a dicho parámetro como variable independiente de sus intervenciones de RT, por lo que las conclusiones que podemos sacar tienen poco respaldo y deben ser secundadas por más investigación.

Caso similar sucede con respecto a la variable ROM, en este caso no tanto por la falta de estudios en general, si no a los estudios específicos de diferentes pROM. Al no estar diferenciado el tipo de pROM, en la bibliografía se engloba todo en un mismo grupo donde posiblemente los pROM incluidos tengan características y resultados diferentes sobre la hipertrofia de la MM. En esta misma línea, también son pocos los estudios que se centran en estudiar el pROMI que, *a priori*, sería el que más hipertrofia podría llegar a producir. Se requiere de más investigación en esta línea, diferenciando los tipos de pROM y analizando si, efectivamente, el pROMI es superior al fROM en cuanto a la hipertrofia que produce.

## 6. CONCLUSIONES

La evidencia científica nos indica que no parece haber ningún beneficio de realizar un pROMs cuando el objetivo es maximizar la hipertrofia muscular. La literatura consultada indica que los mejores resultados de hipertrofia se alcanzan cuando el ROM pasa por el estiramiento muscular, ya sea con un fROM o con pROMI. Todavía se debe esclarecer si, como apuntan algunos estudios, un pROMI podría ser el ROM idóneo para la hipertrofia de algunos grupos musculares. El estiramiento muscular y su derivado aumento de la tensión mecánica, parecen ser una de las claves por las que los ROM que pasan por ahí produzcan más hipertrofia, este aumento del TUT en una tensión mayor explica ese posible beneficio de usar pROMI.

Dónde se encuentre el torque dentro del recorrido de un ejercicio no parece afectar a la hipertrofia, por lo menos no con la investigación llevada a cabo a día de hoy, que es realmente limitada. Solo podemos concluir que es clave e imprescindible para maximizar las ganancias de MM que durante la ejecución del ejercicio se trabaje en la zona donde se encuentra el punto de mayor toque del ejercicio, sin importar del perfil de resistencia del que se trate, ya sea descendente, curvilíneo o ascendente.

Por tanto, es clave seleccionar un ROM adecuado para cada ejercicio, ajustado a su perfil de resistencia y asegurando que este ROM seleccionado pase por el punto de mayor torque del ejercicio a realizar.

Solo existen dos estudios que hayamos encontrado en los que se valore la influencia del torque o el perfil de resistencia en la hipertrofia. Disponer de más información al respecto sería clave para poder valorar correctamente cómo podrían afectar a la selección de ejercicios para las rutinas de RT. Además, dado que la intensidad de entrenamiento es una variable importantísima en la hipertrofia, se debe analizar si, cuando nos acercamos al fallo, la imposibilidad de completar el ROM establecido se debe considerar como el fallo muscular y ajustar el RIR en función de este, o, si bien, se debe estipular una clasificación de ejercicios en función del perfil de resistencia donde en algunos de ellos la disminución del ROM no se considere como fallo muscular, y que se sigan realizando repeticiones parciales hasta el fallo muscular real por imposibilidad siquiera de realizar un pROMI. Este sería el caso de los

**Efectos del rango de movimiento y el torque sobre la hipertrofia muscular. Revisión sistemática.**

ejercicios con perfil de resistencia ascendente, donde el fallo técnico por no completar el fROM y el fallo muscular puede diferir en gran medida, afectando negativamente a la intensidad de entrenamiento y, por ende, a la hipertrofia.

## 7. PROPUESTA PRÁCTICA

### 7.1 Listado de recomendaciones prácticas para el entrenamiento






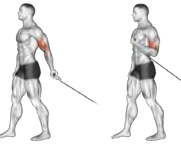
- El ROM debe pasar siempre por el estiramiento muscular. Para ello, realizar fROM o pROMI y asegurarse que el ROM del ejercicio estira el músculo objetivo (Bloomquist et al., 2013; Kassiano et al., 2023a; Kubo et al., 2019; McMahon et al., 2014b; Pedrosa et al., 2022; Sato et al., 2021).
- Utilizar un ROM que pase siempre por el punto de mayor torque del ejercicio (Nunes et al., 2020a; Zabaleta-Korta et al., 2023). Ya sea con un fROM o con pROM que enfatice la zona de mayor torque (Goto et al., 2019).
- Priorizar la selección de ejercicios que favorezcan un mayor estiramiento muscular (Maeo et al., 2021). Por ejemplo, en los músculos isquiosurales, mejor un *curl* de isquios sentado que tumbado y mejor un peso muerto piernas recta o rumano frente a un peso muerto convencional.
- En los ejercicios con un perfil de resistencia ascendente o torque al final del recorrido, pensamos que podría ser interesante realizar repeticiones parciales una vez no se puede completar el fROM por fatiga, pudiese tener efectos beneficioso ya que permitiría llegar más cerca del fallo muscular. Por ejemplo, en unas elevaciones laterales con mancuerna, una vez no se llega a una abducción de hombro de 90° seguir realizando repeticiones intentando llegar a la mayor abducción posible hasta cumplir con el RIR establecido para la serie.

### 7.2 Ejemplo de rutina tipo

Para ejemplificar como se trasladarían todas estas recomendaciones teóricas a una propuesta práctica de entrenamiento, hemos incluido una tabla correspondiente a una sesión de entrenamiento de un deportista recreacional con experiencia en el RT, cuyo objetivo es la hipertrofia muscular. En la **tabla 3** se puede observar la sesión correspondiente al día de trabajo de pectoral y bíceps, enmarcada dentro de los 5 días de entrenamiento que realiza en cada microciclo semanal.

## Efectos del rango de movimiento y el torque sobre la hipertrofia muscular. Revisión sistemática.

**Tabla 3:** Ejemplo de sesión de entrenamiento para pectoral y bíceps.

GRUPO MUSCULAR	EJERCICIO	IMAGEN / VIDEO	EJECUCIÓN	TEMPO (C:I:E:P)	SET 1	RIR	REST	SET 2	RIR	REST	SET 3	RIR
1. PECTORAL	Press plano con mancuernas		FROM Repeticiones parciales (pROMI) tras última serie	MVC:0:2:0	6~7	2	2'	6~7	2	2'	6~7	2
2. PECTORAL	Aperturas sentado en poleas		FROM	MVC:0:3:0	8~9	1~2	1'40"	8~9	1~2	1'40"	8~9	1~2
3. PECTORAL	Fondos lastrados en paralelas		FROM Serie descendente tras última serie	MVC:0:3:0	6~7	2	2'	6~7	2	2'	6~7	2
4. PECTORAL	Press inclinado en multipower		FROM	MVC:0:2:0	8~9	1~2	2'	8~9	1~2	2'	8~9	1~2
5. BÍCEPS	<i>Curl predicador unilateral</i>		FROM	MVC:0:2:0	10~12	1	1'15"	10~12	1	1'15"	10~12	1
6. BÍCEPS	<i>Curl Bayesian en polea baja</i>		FROM Repeticiones parciales (pROMI) tras última serie	MVC:0:2:0	10~12	1	1'15"	10~12	1	1'15"	10~12	1

Abreviaturas: C:I:E:P = Concéntrica Isométrica Excéntrica Pausa; fROM = *full Range Of Motion*; MVC = Máxima Velocidad Controlada; pROMI = *partial Range Of Motion in lengthened position*; RIR = *Repetitions In Reserve*. Ejecución: las pROMI se realizan nada más acabar la serie previa, sin descanso, al alcanzar el RIR establecido para la serie en fROM.

## 8. REFERENCIAS

Abe, T., Kojima, K., Kearns, C. F., Yohena, H., & Fukuda, J. (2003). Whole body muscle hypertrophy from resistance training: distribution and total mass. *Br J Sports Med*, 37(6), 543-545. <https://doi.org/10.1136/bjism.37.6.543>

ACSM. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 41(3), 687-708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>

Bagley, J. R., Burghardt, K. J., McManus, R., Howlett, B., Costa, P. B., Coburn, J. W., Arevalo, J. A., Malek, M. H., & Galpin, A. J. (2020). Epigenetic Responses to Acute Resistance Exercise in Trained vs. Sedentary Men. *J Strength Cond Res*, 34(6), 1574-1580. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003185>

Bartolomei, S., Hoffman, J. R., Stout, J. R., & Merni, F. (2018). Effect of Lower-Body Resistance Training on Upper-Body Strength Adaptation in Trained Men. *J Strength Cond Res*, 32(1), 13-18. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001639>

Baz-Valle, E., Balsalobre-Fernández, C., Alix-Fages, C., & Santos-Concejero, J. (2022). A Systematic Review of The Effects of Different Resistance Training Volumes on Muscle Hypertrophy. *J Hum Kinet*, 81, 199-210. <https://doi.org/10.2478/hukin-2022-0017>

Baz-Valle, E., Fontes-Villalba, M., & Santos-Concejero, J. (2021). Total Number of Sets as a Training Volume Quantification Method for Muscle Hypertrophy: A Systematic Review. *J Strength Cond Res*, 35(3), 870-878. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002776>

Benito Peinado, P. J. (2020). *Conceptos avanzados del entrenamiento con cargas*. Roquetas de Mar, Almería: Círculo Rojo.

Benito, P. J., Cupeiro, R., Ramos-Campo, D. J., Alcaraz, P. E., & Rubio-Arias, J. (2020). A Systematic Review with Meta-Analysis of the Effect of Resistance Training on Whole-Body Muscle Growth in Healthy Adult Males. *Int J Environ Res Public Health*, 17(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph17041285>

Bloomquist, K., Langberg, H., Karlsen, S., Madsgaard, S., Boesen, M., & Raastad, T. (2013). Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations. *Eur J Appl Physiol*, 113(8), 2133-2142. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2642-7>

Calatayud, J., Vinstrup, J., Jakobsen, M. D., Sundstrup, E., Brandt, M., Jay, K., Colado, J. C., & Andersen, L. L. (2016). Importance of mind-muscle connection during progressive resistance training. *Eur J Appl Physiol*, 116(3), 527-533. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3305-7>

Canda, A. S. (2021). Muscle mass index estimated by anthropometry vs bioelectrical impedance: Study in athletes competing by weight categories. *Apunts Sports Medicine*, 56(211), 100360. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apunsm.2021.100360>

Clarys, J. P., Martin, A. D., & Drinkwater, D. T. (1984). Gross tissue weights in the human body by cadaver dissection. *Hum Biol*, 56(3), 459-473.

Contreras, B., Cronin, J., Schoenfeld, B., Nates, R., & Tiriyaki-Sonmez, R. (2013). Are All Hip Extension Exercises Created Equal? *Strength and Conditioning Journal*, 35, 17-22. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e318289fffd>

Fujita, R. A., Villalba, M. M., Silva, N. R. S., Pacheco, M. M., & Gomes, M. M. (2021). Mind-muscle connection: verbal instructions alter electromyographic activity for elbow flexors and extensors during co-contraction training. *Percept Mot Skills*, 128(1), 375-389. <https://doi.org/10.1177/0031512520949089>

Gallagher, P. M., Carrithers, J. A., Godard, M. P., Schulze, K. E., & Trappe, S. W. (2000). Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate ingestion, Part I: effects on strength and fat free mass. *Med Sci Sports Exerc*, 32(12), 2109-2115. <https://doi.org/10.1097/00005768-200012000-00022>

Goldspink, G. (1999). Changes in muscle mass and phenotype and the expression of autocrine and systemic growth factors by muscle in response to stretch and overload. *J Anat*, 194 ( Pt 3)(Pt 3), 323-334. <https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.1999.19430323.x>

Gordon, A. M., Huxley, A. F., & Julian, F. J. (1966). The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibres. *J Physiol*, 184(1), 170-192. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1966.sp007909>

Goto, M., Maeda, C., Hirayama, T., Terada, S., Nirengi, S., Kurosawa, Y., Nagano, A., & Hamaoka, T. (2019). Partial range of motion exercise is effective for facilitating muscle hypertrophy and function through sustained intramuscular hypoxia in young trained men [Article]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(5), 1286-1294. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002051>

Graves, J. E., Pollock, M. L., Jones, A. E., Colvin, A. B., & Leggett, S. H. (1989). Specificity of limited range of motion variable resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 21(1), 84-89. <https://doi.org/10.1249/00005768-198902000-00015>

Graves, J. E., Pollock, M. L., Leggett, S. H., Carpenter, D. M., Fix, C. K., & Fulton, M. N. (1992). Limited range-of-motion lumbar extension strength training. *Med Sci Sports Exerc*, 24(1), 128-133.

Grgic, J., Lazinica, B., Mikulic, P., Krieger, J. W., & Schoenfeld, B. J. (2017). The effects of short versus long inter-set rest intervals in resistance training on measures of muscle hypertrophy:

A systematic review. *Eur J Sport Sci*, 17(8), 983-993.  
<https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1340524>

Grgic, J., McIlvenna, L. C., Fyfe, J. J., Sabol, F., Bishop, D. J., Schoenfeld, B. J., & Pedisic, Z. (2019). Does Aerobic Training Promote the Same Skeletal Muscle Hypertrophy as Resistance Training? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, 49(2), 233-254.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-018-1008-z>

Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Orazem, J., & Sabol, F. (2022). Effects of resistance training performed to repetition failure or non-failure on muscular strength and hypertrophy: A systematic review and meta-analysis. *J Sport Health Sci*, 11(2), 202-211.  
<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.01.007>

Haff, G. G., & Triplett, N. T. (2017). *Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico*, NSCA. Ciudad de México : Editorial Paidotribo México.

Halperin, I., & Vigotsky, A. D. (2016). The mind-muscle connection in resistance training: friend or foe? *Eur J Appl Physiol*, 116(4), 863-864. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3341-y>

Hartmann, H., Wirth, K., & Klusemann, M. (2013). Analysis of the load on the knee joint and vertebral column with changes in squatting depth and weight load. *Sports Med*, 43(10), 993-1008. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0073-6>

Haun, C. T., Vann, C. G., Osburn, S. C., Mumford, P. W., Roberson, P. A., Romero, M. A., Fox, C. D., Johnson, C. A., Parry, H. A., Kavazis, A. N., Moon, J. R., Badisa, V. L. D., Mwashote, B. M., Ibeanusi, V., Young, K. C., & Roberts, M. D. (2019a). Muscle fiber hypertrophy in response to 6 weeks of high-volume resistance training in trained young men is largely attributed to sarcoplasmic hypertrophy. *Plos One*, 14(6), e0215267.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215267>

Haun, C. T., Vann, C. G., Roberts, B. M., Vigotsky, A. D., Schoenfeld, B. J., & Roberts, M. D. (2019b). A Critical Evaluation of the Biological Construct Skeletal Muscle Hypertrophy: Size Matters but So Does the Measurement. *Front Physiol*, 10, 247.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00247>

Hoffmann, C., & Weigert, C. (2017). Skeletal Muscle as an Endocrine Organ: The Role of Myokines in Exercise Adaptations. *Cold Spring Harb Perspect Med*, 7(11).  
<https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029793>

Kassiano, W., Costa, B., Kunevaliki, G., Soares, D., Zacarias, G., Manske, I., Takaki, Y., Ruggiero, M. F., Stavinski, N., Francsuel, J., Tricoli, I., Carneiro, M. A. S., & Cyrino, E. S. (2023a). Greater gastrocnemius muscle hypertrophy after partial range of motion training performed at long muscle lengths [Randomized Controlled Trial]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(9), 1746-1753. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000004460>

Kassiano, W., Costa, B., Nunes, J. P., Ribeiro, A. S., Schoenfeld, B. J., & Cyrino, E. S. (2023b). Which ROMs Lead to Rome? A Systematic Review of the Effects of Range of Motion on Muscle Hypertrophy [Review]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(5), 1135-1144. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000004415>

Kim, Y., Wijndaele, K., Lee, D. C., Sharp, S. J., Wareham, N., & Brage, S. (2017). Independent and joint associations of grip strength and adiposity with all-cause and cardiovascular disease mortality in 403,199 adults: the UK Biobank study. *Am J Clin Nutr*, 106(3), 773-782. <https://doi.org/10.3945/ajcn.117.156851>

Kubo, K., Ikebukuro, T., & Yata, H. (2019). Effects of squat training with different depths on lower limb muscle volumes. *Eur J Appl Physiol*, 119(9), 1933-1942. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04181-y>

Kulig, K., Andrews, J. G., & Hay, J. G. (1984). Human Strength Curves. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 12(1), 417-466. [https://journals.lww.com/acsm-essr/fulltext/1984/01000/human\\_strength\\_curves.14.aspx](https://journals.lww.com/acsm-essr/fulltext/1984/01000/human_strength_curves.14.aspx)

Lacerda, L. T., Marra-Lopes, R. O., Diniz, R. C. R., Lima, F. V., Rodrigues, S. A., Martins-Costa, H. C., Bembem, M. G., & Chagas, M. H. (2020). Is Performing Repetitions to Failure Less Important Than Volume for Muscle Hypertrophy and Strength? *J Strength Cond Res*, 34(5), 1237-1248. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003438>

Larsen, S., Kristiansen, B., Swinton, P., Wolf, M., Falch, H., Tillaar, R., & Østerås Sandberg, N. (2024). The effects of hip flexion angle on quadriceps femoris muscle hypertrophy in the leg extension exercise. <https://doi.org/10.51224/SRXIV.407>

Lawson, D., Vann, C., Schoenfeld, B. J., & Haun, C. (2022). Beyond Mechanical Tension: A Review of Resistance Exercise-Induced Lactate Responses & Muscle Hypertrophy. *J Funct Morphol Kinesiol*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/jfmk7040081>

Lim, C., Nunes, E. A., Currier, B. S., McLeod, J. C., Thomas, A. C. Q., & Phillips, S. M. (2022). An Evidence-Based Narrative Review of Mechanisms of Resistance Exercise-Induced Human Skeletal Muscle Hypertrophy. *Med Sci Sports Exerc*, 54(9), 1546-1559. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002929>

Lopez, P., Pinto, R. S., Radaelli, R., Rech, A., Grazioli, R., Izquierdo, M., & Cadore, E. L. (2018). Benefits of resistance training in physically frail elderly: a systematic review. *Aging Clin Exp Res*, 30(8), 889-899. <https://doi.org/10.1007/s40520-017-0863-z>

Lukaski, H. C., Bolonchuk, W. W., Siders, W. A., & Milne, D. B. (1996). Chromium supplementation and resistance training: effects on body composition, strength, and trace element status of men. *Am J Clin Nutr*, 63(6), 954-965. <https://doi.org/10.1093/ajcn/63.6.954>

Maeo, S., Huang, M., Wu, Y., Sakurai, H., Kusagawa, Y., Sugiyama, T., Kanehisa, H., & Isaka, T. (2021). Greater hamstrings muscle hypertrophy but similar damage protection after training at long versus short muscle lengths. *Med Sci Sports Exerc*, 53(4), 825-837. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002523>

Martínez-Cava, A., Hernández-Belmonte, A., Courel-Ibáñez, J., Morán-Navarro, R., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2022). Bench Press at Full Range of Motion Produces Greater Neuromuscular Adaptations Than Partial Executions After Prolonged Resistance Training. *J Strength Cond Res*, 36(1), 10-15. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003391>

Martins-Costa, H. C., Lacerda, L. T., Diniz, R. C. R., Lima, F. V., Andrade, A. G. P., Peixoto, G. H., Gomes, M. C., Lanza, M. B., Bembem, M. G., & Chagas, M. H. (2022). Equalization of Training Protocols by Time Under Tension Determines the Magnitude of Changes in Strength and Muscular Hypertrophy. *J Strength Cond Res*, 36(7), 1770-1780. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000004004>

McKendry, J., Pérez-López, A., McLeod, M., Luo, D., Dent, J. R., Smeuninx, B., Yu, J., Taylor, A. E., Philp, A., & Breen, L. (2016). Short inter-set rest blunts resistance exercise-induced increases in myofibrillar protein synthesis and intracellular signalling in young males. *Exp Physiol*, 101(7), 866-882. <https://doi.org/10.1113/ep085647>

McMahon, G., Morse, C. I., Burden, A., Winwood, K., & Onambélé, G. L. (2014a). Muscular adaptations and insulin-like growth factor-1 responses to resistance training are stretch-mediated. *Muscle Nerve*, 49(1), 108-119. <https://doi.org/10.1002/mus.23884>

McMahon, G. E., Morse, C. I., Burden, A., Winwood, K., & Onambélé, G. L. (2014b). Impact of range of motion during ecologically valid resistance training protocols on muscle size, subcutaneous fat, and strength [Article]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(1), 245-255. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318297143a>

Moesgaard, L., Beck, M. M., Christiansen, L., Aagaard, P., & Lundbye-Jensen, J. (2022). Effects of Periodization on Strength and Muscle Hypertrophy in Volume-Equated Resistance Training Programs: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med*, 52(7), 1647-1666. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01636-1>

Moritani, T., & deVries, H. A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med*, 58(3), 115-130.

Muanjai, P., Jones, D. A., Mickevicius, M., Satkunskiene, D., Snieckus, A., Rutkauskaite, R., Mickeviciene, D., & Kamandulis, S. (2017). The effects of 4 weeks stretching training to the point of pain on flexibility and muscle tendon unit properties. *Eur J Appl Physiol*, 117(8), 1713-1725. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3666-1>

Mulimani, P. S. (2017). Evidence-based practice and the evidence pyramid: A 21st century orthodontic odyssey. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 152(1), 1-8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.03.020>

Nunes, J. P., Jacinto, J. L., Ribeiro, A. S., Mayhew, J. L., Nakamura, M., Capel, D. M. G., Santos, L. R., Santos, L., Cyrino, E. S., & Aguiar, A. F. (2020a). Placing Greater Torque at Shorter or Longer Muscle Lengths? Effects of Cable vs. Barbell Preacher *Curl* Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Young Adults. *Int J Environ Res Public Health*, 17(16). <https://doi.org/10.3390/ijerph17165859>

Nunes, J. P., Schoenfeld, B. J., Nakamura, M., Ribeiro, A. S., Cunha, P. M., & Cyrino, E. S. (2020b). Does stretch training induce muscle hypertrophy in humans? A review of the literature. *Clin Physiol Funct Imaging*, 40(3), 148-156. <https://doi.org/10.1111/cpf.12622>

Odegard, G. M., Donahue, T. L., Morrow, D. A., & Kaufman, K. R. (2008). Constitutive modeling of skeletal muscle tissue with an explicit strain-energy function. *J Biomech Eng*, 130(6), 061017. <https://doi.org/10.1115/1.3002766>

Ohno, Y., Ando, K., Ito, T., Suda, Y., Matsui, Y., Oyama, A., Kaneko, H., Yokoyama, S., Egawa, T., & Goto, K. (2019). Lactate Stimulates a Potential for Hypertrophy and Regeneration of Mouse Skeletal Muscle. *Nutrients*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/nu11040869>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., . . . Moher, D. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas [10.1016/j.recesp.2021.06.016]. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>

Pallarés, J. G., Cava, A. M., Courel-Ibáñez, J., González-Badillo, J. J., & Morán-Navarro, R. (2020). Full squat produces greater neuromuscular and functional adaptations and lower pain than partial squats after prolonged resistance training. *Eur J Sport Sci*, 20(1), 115-124. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1612952>

Pallarés, J. G., Hernández-Belmonte, A., Martínez-Cava, A., Vetrovsky, T., Steffl, M., & Courel-Ibáñez, J. (2021). Effects of range of motion on resistance training adaptations: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports*, 31(10), 1866-1881. <https://doi.org/10.1111/sms.14006>

Paoli, A., Mancin, L., Saoncella, M., Grigoletto, D., Pacelli, F. Q., Zamparo, P., Schoenfeld, B. J., & Marcolin, G. (2019). Mind-muscle connection: effects of verbal instructions on muscle activity during bench press exercise. *Eur J Transl Myol*, 29(2), 8250. <https://doi.org/10.4081/ejtm.2019.8250>

Paul, A. C., & Rosenthal, N. (2002). Different modes of hypertrophy in skeletal muscle fibers. *Journal of Cell Biology*, 156(4), 751-760. <https://doi.org/10.1083/jcb.200105147>

Pedrosa, G. F., Lima, F. V., Schoenfeld, B. J., Lacerda, L. T., Simoes, M. G., Pereira, M. R., Diniz, R. C. R., & Chagas, M. H. (2022). Partial range of motion training elicits favorable improvements in muscular adaptations when carried out at long muscle lengths [Article]. *European Journal of Sport Science*, 22(8), 1250-1260. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1927199>

Pedrosa, G. F., Simoes, M. G., Figueiredo, M. O. C., Lacerda, L. T., Schoenfeld, B. J., Lima, F. V., Chagas, M. H., & Diniz, R. C. R. (2023). Training in the Initial Range of Motion Promotes Greater Muscle Adaptations Than at Final in the Arm Curl [Article]. *Sports*, 11(2), Article 39. <https://doi.org/10.3390/sports11020039>

Peeters, B. M., Lantz, C. D., & Mayhew, J. L. (1999). Effect of Oral Creatine Monohydrate and Creatine Phosphate Supplementation on Maximal Strength Indices, Body Composition, and Blood Pressure. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(1), 3-9. [https://journals.lww.com/nsca-jscr/fulltext/1999/02000/effect\\_of\\_oral\\_creatine\\_monohydrate\\_and\\_creatine.1.aspx](https://journals.lww.com/nsca-jscr/fulltext/1999/02000/effect_of_oral_creatine_monohydrate_and_creatine.1.aspx)

Pinto, R. S., Gomes, N., Radaelli, R., Botton, C. E., Brown, L. E., & Bottaro, M. (2012). Effect of range of motion on muscle strength and thickness [Article]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(8), 2140-2145. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823a3b15>

Refalo, M. C., Helms, E. R., Trexler, E. T., Hamilton, D. L., & Fyfe, J. J. (2023). Influence of Resistance Training Proximity-to-Failure on Skeletal Muscle Hypertrophy: A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Med*, 53(3), 649-665. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01784-Y>

Reggiani, C., & Schiaffino, S. (2020). Muscle hypertrophy and muscle strength: dependent or independent variables? A provocative review. *Eur J Transl Myol*, 30(3), 9311. <https://doi.org/10.4081/ejtm.2020.9311>

Russell, B., Motlagh, D., & Ashley, W. W. (2000). Form follows function: how muscle shape is regulated by work. *J Appl Physiol* (1985), 88(3), 1127-1132. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.3.1127>

Sato, S., Yoshida, R., Kiyono, R., Yahata, K., Yasaka, K., Nunes, J. P., Nosaka, K., & Nakamura, M. (2021). Elbow Joint Angles in Elbow Flexor Unilateral Resistance Exercise Training Determine Its Effects on Muscle Strength and Thickness of Trained and Non-trained Arms [Article]. *Frontiers in Physiology*, 12, Article 734509. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.734509>

Schoenfeld, B. (2016). Science and Development of Muscle Hypertrophy. In B. Schoenfeld (Ed.), *Science and Development of Muscle Hypertrophy* (1 ed.). Human Kinetics. <https://www.humankineticslibrary.com/encyclopedia?docid=b-9781492595847>

Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res*, 24(10), 2857-2872. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e840f3>

Schoenfeld, B. J. (2013). Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Med*, 43(3), 179-194. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0017-1>

Schoenfeld, B. J., & Grgic, J. (2020). Effects of range of motion on muscle development during resistance training interventions: A systematic review [Review]. *Sage Open Medicine*, 8, Article 2050312120901559. <https://doi.org/10.1177/2050312120901559>

Schoenfeld, B. J., Grgic, J., & Krieger, J. (2019). How many times per week should a muscle be trained to maximize muscle hypertrophy? A systematic review and meta-analysis of studies examining the effects of resistance training frequency. *J Sports Sci*, 37(11), 1286-1295. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1555906>

Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2016a). Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, 46(11), 1689-1697. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0543-8>

Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017a). Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *J Sports Sci*, 35(11), 1073-1082. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1210197>

Schoenfeld, B. J., Ogborn, D. I., & Krieger, J. W. (2015). Effect of repetition duration during resistance training on muscle hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 45(4), 577-585. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0304-0>

Schoenfeld, B. J., Ogborn, D. I., Vigotsky, A. D., Franchi, M. V., & Krieger, J. W. (2017b). Hypertrophic Effects of Concentric vs. Eccentric Muscle Actions: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Strength Cond Res*, 31(9), 2599-2608. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001983>

Schoenfeld, B. J., Pope, Z. K., Benik, F. M., Hester, G. M., Sellers, J., Nooner, J. L., Schnaiter, J. A., Bond-Williams, K. E., Carter, A. S., Ross, C. L., Just, B. L., Henselmans, M., & Krieger, J. W. (2016b). Longer Interset Rest Periods Enhance Muscle Strength and Hypertrophy in Resistance-Trained Men. *J Strength Cond Res*, 30(7), 1805-1812. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001272>

Simposio Internacional de Actualizaciones en Entrenamiento de la Fuerza. (2018). *XI Simposio Internacional de Actualizaciones en Entrenamiento de la Fuerza = XI International Symposium in Strength Training* (P. J. Benito Peinado, Ed.). Madrid : Universidad Politécnica de Madrid.

Stamatakis, E., Lee, I. M., Bennie, J., Freeston, J., Hamer, M., O'Donovan, G., Ding, D., Bauman, A., & Mavros, Y. (2018). Does Strength-Promoting Exercise Confer Unique Health Benefits? A Pooled Analysis of Data on 11 Population Cohorts With All-Cause, Cancer, and Cardiovascular Mortality Endpoints. *Am J Epidemiol*, 187(5), 1102-1112. <https://doi.org/10.1093/aje/kwx345>

Steele, J., Bruce-Low, S., Smith, D., Jessop, D., & Osborne, N. (2013). A randomized controlled trial of limited range of motion lumbar extension exercise in chronic low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*, 38(15), 1245-1252. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318291b526>

Thorstensson, A., Hultén, B., von Döbeln, W., & Karlsson, J. (1976). Effect of strength training on enzyme activities and fibre characteristics in human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*, 96(3), 392-398. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1976.tb10207.x>

Tous Fajardo, J. (1999). *Nuevas tendencias en fuerza y musculación*. Barcelona J. Tous.

Valamatos, M. J., Tavares, F., Santos, R. M., Veloso, A. P., & Mil-Homens, P. (2018). Influence of full range of motion vs. equalized partial range of motion training on muscle architecture and mechanical properties. *Eur J Appl Physiol*, 118(9), 1969-1983. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3932-x>

Van Every, D. W., Coleman, M., Rosa, A., Zambrano, H., Plotkin, D., Torres, X., Mercado, M., De Souza, E. O., Alto, A., Oberlin, D. J., Vigotsky, A. D., & Schoenfeld, B. J. (2022). Loaded inter-set stretch may selectively enhance muscular adaptations of the plantar flexors. *Plos One*, 17(9), e0273451. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273451>

Vieira, A. F., Umpierre, D., Teodoro, J. L., Lisboa, S. C., Baroni, B. M., Izquierdo, M., & Cadore, E. L. (2021). Effects of Resistance Training Performed to Failure or Not to Failure on Muscle Strength, Hypertrophy, and Power Output: A Systematic Review With Meta-Analysis. *J Strength Cond Res*, 35(4), 1165-1175. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003936>

Wackerhage, H., Schoenfeld, B. J., Hamilton, D. L., Lehti, M., & Hulmi, J. J. (2019). Stimuli and sensors that initiate skeletal muscle hypertrophy following resistance exercise. *J Appl Physiol* (1985), 126(1), 30-43. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00685.2018>

Warneke, K., Brinkmann, A., Hillebrecht, M., & Schiemann, S. (2022). Influence of Long-Lasting Static Stretching on Maximal Strength, Muscle Thickness and Flexibility. *Front Physiol*, 13, 878955. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.878955>

Warneke, K., Lohmann, L. H., Lima, C. D., Hollander, K., Konrad, A., Zech, A., Nakamura, M., Wirth, K., Keiner, M., & Behm, D. G. (2023). Physiology of Stretch-Mediated Hypertrophy and

Strength Increases: A Narrative Review. *Sports Med*, 53(11), 2055-2075. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01898-x>

Wilk, M., Zajac, A., & Tufano, J. J. (2021). The Influence of Movement Tempo During Resistance Training on Muscular Strength and Hypertrophy Responses: A Review. *Sports Med*, 51(8), 1629-1650. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01465-2>

Wilson, J. M., Lowery, R. P., Joy, J. M., Andersen, J. C., Wilson, S. M., Stout, J. R., Duncan, N., Fuller, J. C., Baier, S. M., Naimo, M. A., & Rathmacher, J. (2014). The effects of 12 weeks of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate free acid supplementation on muscle mass, strength, and power in resistance-trained individuals: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Eur J Appl Physiol*, 114(6), 1217-1227. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2854-5>

Wolf, M., Androulakis-Korakakis, P., Fisher, J., Schoenfeld, B., & Steele, J. (2023). Partial Vs Full Range of Motion Resistance Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Strength and Conditioning*, 3(1). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v3i1.182>

Wolfe, R. R. (2006). The underappreciated role of muscle in health and disease. *Am J Clin Nutr*, 84(3), 475-482. <https://doi.org/10.1093/ajcn/84.3.475>

Zabaleta-Korta, A., Fernandez-Pena, E., Torres-Unda, J., Frances, M., Zubillaga, A., & Santos-Concejero, J. (2023). Regional Hypertrophy: The Effect of Exercises at Long and Short Muscle Lengths in Recreationally Trained Women. *Journal of human kinetics*, 87, 259-270. <https://doi.org/10.5114/jhk/163561>

