



UNIVERSIDAD DE GRANADA

Universidad de Granada
Facultad de Ciencias Del Deporte
Departamento de Educación Física Y Deportiva

Programa De Doctorado En Biomedicina

“Perfil fuerza-velocidad a través del *sit-to-stand*: una nueva herramienta para la evaluación de la potencia muscular y su relación con parámetros arquitectónicos y capacidad funcional en la población adulta”

Tesis Doctoral Presentada Por:

Rodrigo Lizama Pérez

Tesis Doctoral Dirigida Por:

Dr. Daniel Jerez Mayorga
Dr. Ignacio Jesus Chiroso Ríos

Granada, 2023.

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Rodrigo Alberto Lizama Pérez
ISBN: 978-84-1195-017-6
URI: <https://hdl.handle.net/10481/84501>

ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
DEDICATORIAS	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ABREVIATURAS	8
LISTA DE PUBLICACIONES Y PONENCIAS EN CONGRESOS	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	14
OBJETIVOS	24
MATERIAL Y MÉTODO.....	26
RESULTADOS	54
DISCUSIÓN	73
CONCLUSIONES	88
LIMITACIONES	94
PROYECCIONES.....	97
REFERENCIAS.....	98
ANEXOS.....	116

DEDICATORIAS

A Dios por estar presente en cada momento.

*A mi esposa Katherine, por estar conmigo en cada momento y ser el sustento
de mi vida.*

*A mis padres Gloria y Aldo, por darme su amor incondicional y apoyarme
siempre en todas las aventuras de mi vida.*

*A mi familia, hermanas, cuñados, suegros y sobrinos quienes son mi soporte
para cada decisión y siempre han estado presentes en orientarme hacia en el
camino correcto.*

*A Neitor, Ipa y Donna, por llegar a iluminar nuestras vidas y entregarnos
alegrías cada día.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de todo corazón a Daniel Jerez, por creer en mí e impulsarme a realizar este doctorado, por su paciencia, y dirección constante a lo largo de este desafiante proceso. Su apoyo y crítica constructiva han sido invaluable y han contribuido enormemente en todo el proceso.

A mi tutor, Luis Chiroso por su valiosa orientación y por impulsar siempre mi pensamiento crítico, su entusiasmo y filosofía ha sido una fuente de inspiración en mi vida académica.

A mi director de tesis, Ignacio Chiroso por aceptarme, guiarme y hacerme sentir como si estuviera en familia.

A mis compañeros del doctorado y miembros del grupo CTS 642, Guido, Max, María Dolores, Gustavo, Antonio, Darío, Indya, Dani, Ignacio y María, por su apoyo, sus sugerencias útiles, su amistad y camaradería durante todo el proceso. También deseo expresar mi gratitud a Marcela y María, cuyo apoyo y ayuda han sido invaluable durante mi estadía.

A la Universidad San Sebastián, Ángel Astroza, Teresa Ross, Paulina Godoy, Berta Henríquez y Luis Pérez, quienes me apoyaron desde un principio e hicieron posible mi estancia doctoral en España.

En última instancia, a todos los que de alguna u otra forma, contribuyeron para que pueda realizar este proceso, estoy enormemente agradecido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mediciones que se realizaron para cada imagen. A: Imagen extraída con la sonda en posición transversal; B: Imagen extraída con la sonda en posición longitudinal; líneas punteadas azules: aponeurosis superficial; líneas punteadas rojas: aponeurosis profunda; MT1, 2 y 3: Número de mediciones del grosor muscular (*Estudio 2*).

Figura 2. Diseño de la investigación (*estudio 4*).

Figura 3. Dinamómetro electromecánico funcional (DEMF) (*estudio 5*).

Figura 4. Procedimientos para la evaluación del perfil LV con el DEMF (*estudio 5*).

Figura 5. Representación de las 3 variables de la relación carga-velocidad obtenidas por un participante representativo durante el STS test de diez repeticiones. A_{line} , área debajo de la línea de la relación carga-velocidad; L_0 , intersección en el eje de la carga; V_0 , intersección en el eje de la velocidad (*estudio 5*).

Figura 6. Diagrama de flujo de la revisión sistemática (*estudio 1*)

Figura 7. Asociación entre las mediciones de MT y la masa magra de los miembros inferiores. a) Mediciones de MT realizadas con la sonda en posición longitudinal; b) Mediciones de MT realizadas con la sonda en posición transversal (*estudio 2*).

Figura 8. Distribución de las correlaciones entre los parámetros de la arquitectura muscular, el MQI y la potencia media relativa al STS. Donde MQI = índice de calidad muscular; STS = sit to stand; MT = grosor muscular; FL = longitud del fascículo; PA = ángulo de penación; r = coeficiente de correlación de Pearson (*estudio 3*).

Figura 9. Diagrama de flujo CONSORT (*estudio 4*).

Figura 10. Cambios individuales de la función muscular para cada grupo. Las barras azules representan a los participantes que mostraron cambios positivos y las barras rojas cambios negativos. La línea horizontal representa la media y la sombra amarilla el porcentaje de cambio mínimo detectable. ICC = coeficiente de correlación intraclase; SEM = Error estándar de medición; MDC = cambio mínimo detectable (*estudio 4*).

Figura 11. Cambios individuales de la arquitectura muscular en cada grupo. Las barras azules representan a los participantes que mostraron cambios positivos y las barras rojas cambios negativos. La línea horizontal representa la media, y la sombra amarilla el porcentaje de cambio mínimo detectable. ICC = coeficiente de correlación intraclase; SEM = Error estándar de medición; MDC = cambio mínimo detectable (*estudio 4*).

Figura 12. Distribución de las correlaciones entre los parámetros de la arquitectura muscular y las variables derivadas del perfil LV. Donde r representa el coeficiente de correlación de Pearson; MT = grosor muscular; FL = longitud del fascículo; PA = ángulo de penetración; ; LV = relación carga velocidad; CI = intervalo de confianza; L0 = carga teórica máxima; V0 = Velocidad cero; LVs = pendiente de la relación carga velocidad y Aline = el área bajo la recta (*estudio 5*).

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1.** Diseño del estudio y tamaño de la muestra estudios.
- Tabla 2.** Características de los participantes (*estudio 2*).
- Tabla 3.** Características de los participantes (*estudio 3*).
- Tabla 4.** Características de los participantes (*estudio 5*).
- Tabla 5.** Características de los participantes en los estudios (*estudio 1*).
- Tabla 6.** Evaluación de la calidad metodológica de los estudio incluidos (*estudio 1*).
- Tabla 7.** Detalle de las intervenciones (*estudio 1*).
- Tabla 8.** Comparación entre las mediciones realizadas con la sonda en posición longitudinal y transversal (*estudio 2*).
- Tabla 9.** Características de los participantes (*estudio 4*).
- Tabla 10.** Cambios en la función muscular (*estudio 4*).
- Tabla 11.** Cambios en la arquitectura muscular del músculo vasto lateral (*estudio 4*).
- Tabla 12.** Resultados mediciones arquitectura muscular y variables derivadas del perfil LV (*estudio 5*).
- Tabla 13.** Asociaciones entre los parámetros de la arquitectura muscular y el las variables derivadas del perfil LV (*estudio 5*).

ABREVIATURAS

Sit to stand test	Prueba de sentarse y levantarse.
STS	Sit to stand.
STS test	Sit to stand test.
5 STS	Sit to stand de cinco repeticiones.
10 STS	Sit to stand de diez repeticiones.
OMS	Organización mundial de la salud.
VL	Músculo vasto lateral.
BFIh	Cabeza larga del músculo biceps femoral
GM	Músculo Gastrocnemio medial
GL	Músculo Gastrocnemio lateral
MT	Grosor muscular.
FL	Longitud del fascículo.
PA	Ángulo de penetración.
NHE	Ejercicio de isquiotibiales nordico.
L₀	Carga teórica máxima a velocidad cero.
V₀	Velocidad máxima.
s	Pendiente.
LVs	Pendiente de la relación carga- velocidad.
A_{line}	Área bajo la línea de la relación LV.

LISTA DE PUBLICACIONES Y PONENCIAS EN CONGRESOS

- Lizama-Pérez, R.; Chiroso-Rios, I.; Chiroso-Rios, L.; Olave; E.; Ferragut, C.; Vila, H. & Jerez-mayorga, D. Effects of Eccentric Exercise on Muscle Architecture in Adults: A Systematic Review. *Int. J. Morphol.*, 40(2):425-432, 2022.
- Lizama-Pérez, R.; Muñoz-Cofré, R.; Vidal-Seguel, N.; Chiroso, R. I.; Jerez-Mayorga, D.; Intelangelo, L.; Chiroso Ríos, R. L. Influence of Probe Position in The Measurement of Muscle Thickness and Its Association with Lean Mass: An Ultrasound Study. *Int. J. Morphol.*, 41(2):640-645, 2023.
- Lizama- Pérez; Chiroso- Ríos, L.; Contreras-Díaz, G.; Jerez-Mayorga, D; Jimenez-Lupion, D.; Chiroso- Ríos, I. Effect of Sit to Stand-based Training on Muscle Quality in Sedentary Adults: A Randomized Controlled Trial. *PeerJ.*, 2023. xx.xx. (Aceptado en la revista).
- Lizama-Pérez, R.; Muñoz-Cofré, R.; Vidal-Seguel, N.; Chiroso, R. I.; Jerez-Mayorga, D.; Chiroso Ríos, R. L. Asociación entre la arquitectura muscular y el índice de calidad muscular en adultos sedentarios. (sometido, en proceso de revisión).
- Exposición en "1er foro multidisciplinario internacional de posgrado en las ciencias aplicadas a la actividad física y deporte" celebrado el 27 y 28 de abril de 2022, en Cuernavaca, Morelos; México. Con el trabajo denominado "Efectos del Ejercicio Excéntrico en la Arquitectura Muscular en Adultos: Una Revisión Sistemática".

RESUMEN

En la sociedad actual, el sedentarismo y el estilo de vida sedentario se han convertido en un problema de salud global, asociado con una disminución de la capacidad funcional y de la salud en general. El envejecimiento y el estilo de vida sedentario son factores que contribuyen a la pérdida de masa muscular y a la disminución de la fuerza, velocidad y potencia muscular. Estos cambios musculares están asociados con un mayor riesgo de comorbilidades, mortalidad y un aumento del gasto público en salud. La evaluación de la masa muscular y la arquitectura muscular son importantes para comprender y cuantificar los cambios musculares asociados con el envejecimiento y el estilo de vida sedentario. Varios estudios han utilizado diferentes métodos, como el ultrasonido en modo-B, para estimar la masa muscular y evaluar la arquitectura muscular en diferentes grupos musculares.

El objetivo principal de esta tesis doctoral fue *Determinar la relación entre el perfil fuerza-velocidad, capacidad funcional y los parámetros arquitectónicos del músculo en población adulta*. Para cumplir con este objetivo se realizó una revisión sistemática (estudio 1), tres estudios descriptivos (estudios 2, 3 y 4) y un ensayo clínico (estudio 5):

En el segundo estudio, se determinó la variación en la medición del grosor muscular del músculo vasto lateral (VL) utilizando la sonda del ultrasonido en posición longitudinal o transversal donde participaron 60 sujetos sedentarios

En el tercer estudio, se investigó la asociación entre los parámetros de la arquitectura muscular y el índice de calidad muscular (MQI). Se evaluaron 60 participantes con características similares al estudio 2.

En el cuarto estudio, se compararon los efectos de los programas de entrenamiento de levantarse y sentarse (STS) con 5 y 10 repeticiones en la arquitectura muscular y la función muscular en adultos sedentarios. Se reclutaron 58 participantes divididos en tres grupos: 5STS, 10 STS y un grupo control (CG).

En el quinto estudio, se evaluó la relación entre las variables derivadas del perfil carga-velocidad y los parámetros de la arquitectura muscular utilizando el test STS test y un dinamómetro electromecánico funcional con cargas incrementales. Participaron 28 individuos, tanto hombres como mujeres.

El conocimiento obtenido a través de estos estudios contribuirá a una mejor comprensión de la relación entre la capacidad funcional, la arquitectura muscular y la calidad muscular en diferentes poblaciones. Además, los resultados pueden tener implicaciones para el diseño de programas de ejercicio más efectivos y la mejora de la salud muscular en diferentes grupos de edad y niveles de actividad física.

ABSTRACT

Today, sedentary behavior and lifestyle have emerged as global health problems, being associated with a decrease in functional capacity and overall health. Aging and a sedentary lifestyle contribute to the loss of muscle mass and a decrease in muscle strength, speed, and power. These changes in muscular health are linked to a higher risk of comorbidities, mortality, and an increase in public health expenditure. Evaluating muscle mass and muscle architecture is crucial to understand and quantify the muscular changes associated with aging and a sedentary lifestyle. Various studies have employed methods like B-mode ultrasound to estimate muscle mass and assess muscle architecture in different muscle groups.

The primary objective of this doctoral thesis was to determine the relationship between the force-velocity profile, functional capacity, and the architectural parameters of muscles in the adult population. This goal was pursued through a systematic review (study 1), three descriptive studies (studies 2, 3, and 4), and a clinical trial (study 5).

In the second study, the variation in measuring the thickness of the vastus lateralis (VL) muscle using an ultrasound probe in longitudinal or transversal positions was determined with the participation of sixty sedentary subjects.

In the third study, the association between muscle architectural parameters and the Muscle Quality Index (MQI) was investigated. This study evaluated sixty participants with characteristics similar to those in study 2.

In the fourth study, the effects of Sit-to-Stand (STS) training programs with 5 and 10 repetitions on muscle architecture and muscle function in sedentary

adults were compared. Fifty-eight participants were recruited and divided into three groups: 5STS, 10STS, and a control group (CG).

In the fifth study, the relationship between variables derived from the load-velocity profile and muscle architecture parameters was evaluated using the STS test and a functional electromechanical dynamometer with incremental loads. This study included the participation of twenty-eight individuals of both genders. The insights gained through these studies will contribute to a better understanding of the relationship between functional capacity, muscle architecture, and muscle quality in different populations. Furthermore, the results may have implications for designing more effective exercise programs and improving muscle health across various age groups and levels of physical activity.

INTRODUCCIÓN

El avance de la tecnología y el desarrollo de nuevos inventos, sin duda ha facilitado la vida de las personas, sin embargo, esto también ha favorecido a que adopten un estilo de vida más sedentario [1]. Esta situación se ha vuelto un problema cada vez más complejo para la salud a nivel global, donde inclusive el año 2010 la Organización Mundial de la Salud (OMS) cataloga al sedentarismo como el cuarto factor de riesgo de mortalidad a nivel mundial [2], asociándolo a consecuencias tanto funcionales como orgánicas, entre ellas la disminución de la fuerza y la potencia muscular [3]. Lo anteriormente mencionado, sumado a todos los deterioros asociados al envejecimiento, repercuten de manera considerable en las personas, sobre todo en la población de adultos mayores, donde la potencia muscular tiene una mayor influencia en su movilidad funcional que cualquier otra capacidad física [4]. Este deterioro podría verse acelerado en la población adulta luego de los 50 años de edad, como una consecuencia de la disminución de la masa muscular, situación que se ve favorecida con un estilo de vida sedentario [5].

El músculo esquelético desempeña un papel vital en la existencia humana. Su facultad para generar energía mecánica nos brinda la habilidad de movernos, desplazarnos, sostener la postura, llevar a cabo tareas diarias y participar activamente en la sociedad [6] Además, contribuye en la regulación de la temperatura corporal [7], realiza funciones endocrinas y ayuda a mantener los niveles óptimos de glicemia [8]. Esta multifuncionalidad ha posicionado al estudio del músculo esquelético como un eje de interés en la comunidad

científica a lo largo del tiempo, utilizándose como un indicador eficaz del estado de salud en diversas poblaciones [9].

El análisis del músculo esquelético puede abordarse desde múltiples perspectivas [10]. Desde el punto de vista funcional, se pueden determinar aspectos como la capacidad para producir fuerza o potencia [4]. Desde una óptica morfológica, es posible examinar los componentes estructurales a niveles macroscópicos, celulares y moleculares [11]. El estudio macroscópico de la morfología del músculo esquelético y su interacción con los tendones ha demostrado un interés constante desde hace mucho tiempo [12]. Esta línea de investigación nos ha permitido estimar la función muscular y comprender la movilidad [12]. El conocimiento y la comprensión de la morfología muscular no solo suponen un avance en nuestro entendimiento, sino que también marcan el punto de partida para el desarrollo de nuevas tecnologías [13], la realización de actividades cotidianas [14] y la mejora del rendimiento deportivo [15]–[17].

La noción de "Arquitectura muscular", es decir, la disposición de las fibras musculares dentro de un músculo en relación con el eje de generación de fuerza [18], comenzó a tomar interés el último tiempo, para comprender el componente intrínseco del músculo esquelético en la transmisión de la fuerza [19]. Sin embargo, fueron los anatomistas quienes, mucho antes, describieron la disposición de las fibras musculares en relación con el tendón y no con el eje de generación de fuerza [12]. En 1537, Vesalio, en su tratado de anatomía "De Humanis Corporis Fabrica", describió con precisión los músculos del cuerpo humano gracias a su acceso al estudio de cadáveres [20], refutando a Galeno quien solo había descrito la anatomía muscular a través del estudio en animales

[21]. Posteriormente, el español Juan Valverde aprovechó la obra de Vesalio para mejorar la descripción muscular [22].

En 1670, en el tratado "De Motu Musculari" escrito por Willis, se describió por primera vez las disposiciones de las fibras musculares, diferenciando los músculos con fibras paralelas y los músculos con forma de pluma (uni-peniformes, bi-peniformes y multi-peniformes) [12]. Aproximadamente al mismo tiempo, Stenonis estableció la relación entre la arquitectura muscular y la contracción. De manera complementaria, en 1680, Giovanni Alfonso Borelli calculó las fuerzas de los músculos en función de la disposición de sus fibras[12].

La arquitectura muscular incluye aspectos como el grosor muscular (MT), la longitud del fascículo (FL) y el ángulo de penación (PA) [18]. La evaluación de estos parámetros proporciona una visión valiosa de la calidad muscular [11], que puede ser influenciada por varios factores, como el envejecimiento, la actividad física y el entrenamiento [15], [17], [23], [24].

La arquitectura muscular también puede variar significativamente entre diferentes poblaciones. Por ejemplo, los atletas de élite pueden tener una arquitectura muscular muy diferente en comparación con las personas sedentarias o las que realizan ejercicio de manera recreativa [25]–[27]. Además, puede verse afectada por factores como la edad y el sexo. Por ejemplo, con el envejecimiento, los músculos pueden experimentar una disminución MT y PA, lo que podría reducir la fuerza y la funcionalidad muscular. Asimismo, los hombres tienden a tener valores más elevados de MT en comparación con las mujeres [23], [27]–[29]

Los músculos tienen la capacidad de adaptarse a través de cambios en su arquitectura en respuesta al entrenamiento [18]. Un ejemplo de esto, es cómo el entrenamiento de resistencia concéntrica [30] o el entrenamiento pliométrico [31] pueden producir adaptaciones en MT y PA. Del mismo modo, el entrenamiento con contracción excéntrica podría generar adaptaciones en estos parámetros. No obstante, es importante hacer mención del entrenamiento con contracción excéntrica y su potencial para generar adaptaciones en los parámetros de la arquitectura muscular [32]. Recientemente, un metaanálisis realizado por Gerard et al. (2020) proporcionó valiosa información sobre los efectos del ejercicio excéntrico en la arquitectura muscular de la cabeza larga del bíceps femoral. Los resultados indican que este tipo de ejercicio puede inducir adaptaciones al aumentar MT y FL, y disminuir PA, además de generar cambios en la fuerza de los músculos isquiotibiales. Este tipo de hallazgos tienen implicaciones importantes para la recuperación de lesiones musculares, pudiendo incluso contribuir a su prevención [18]. Sin embargo, es evidente que la influencia del entrenamiento excéntrico en otros músculos aún no ha sido revisada de manera sistemática. Es por esto, que el primer estudio de esta tesis doctoral consiste en **“Determinar los efectos del entrenamiento excéntrico en la arquitectura muscular en la población adulta”**.

En la actualidad se sabe que el músculo esquelético sufre cambios morfológicos adicionales a la pérdida de masa, como la infiltración ectópica de tejido graso [33], la pérdida de inervación, las alteraciones en las uniones neuromotoras [34] y las adaptaciones en la arquitectura muscular [24]. Todo esto conduce a una pérdida de la funcionalidad muscular en términos de fuerza,

velocidad y potencia [3]. Lo cual trae como consecuencia, un incremento de padecer comorbilidades, mortalidad y, por lo tanto, un aumento del gasto público en salud [35], [36].

Se han utilizado diferentes herramientas para estimar la masa muscular, a través del área de sección transversal (CSA). Un método que ha ganado un espacio en el último tiempo es la utilización de ultrasonido en modo- B, por considerarse con muy bajo riesgo de radiación y, además, permitir evaluaciones en vivo [37]. Del mismo modo, los equipos cada vez son más portátiles, lo que permite estimar la masa muscular a pie de cama [5]. Esta situación, ha permitido realizar diferentes tipos de evaluaciones en el músculo, las cuales varían dependiendo la posición de la sonda, por ejemplo, para la medición de los parámetros de la arquitectura muscular, normalmente la sonda se ubica paralela al eje longitudinal del músculo [24], en cambio, para evaluar la ecogenicidad, la sonda se ubica perpendicular al eje longitudinal del músculo [38].

Particularmente MT podría ser un potencial indicador de salud por su asociación función muscular [14], [39], [40], y se ha propuesto como un método válido para obtener el CSA de los músculos en los miembros inferiores [40] y de esta manera, pesquisar tempranamente la disminución de masa muscular o monitorear las intervenciones terapéuticas [41]. Así mismo, se han utilizado diferentes grupos musculares, tanto de los miembros superiores como inferiores para determinar MT [42]. Uno de los protocolos comúnmente utilizados, es a través del músculo vasto lateral (VL), el cual se ha estudiado en diferentes porcentajes de su longitud, utilizando una medición con la sonda en posición longitudinal [43], [44]

MT se define como la distancia entre la aponeurosis profunda y superficial. Cuando la sonda se posiciona en el eje longitudinal las aponeurosis se describen como dos líneas paralelas apreciadas en la imagen del ultrasonido [18], en cambio, en una medición transversal las aponeurosis se presentan con una disposición curvilínea inclusive con una forma irregular mostrando diferentes longitudes de MT en una misma imagen [45]. Esta situación podría generar una variación en la medición de MT inclusive si se posiciona la sonda en el mismo punto. En este contexto, el MT determinado en el eje longitudinal podría estar alterado o ser incongruente para estimar el grosor real del músculo en ese punto específico. A pesar de las posibles incongruencias en la medición, no hemos encontrado estudios que hayan determinado la variación entre la medición con la sonda posicionada en el eje longitudinal o transversal para el VL. Por esta razón, el segundo estudio tiene por objetivos: **“Determinar si existen diferencias entre la medición de MT de VL determinada utilizando la sonda en posición longitudinal o transversal y en segundo lugar determinar su asociación con la masa magra de los miembros inferiores”**.

Para comprender con mayor profundidad el concepto de fuerza y potencia muscular, es necesario conocer las características del tejido muscular en un sentido más amplio y funcional. Uno de los conceptos más objetivos y globales que contemplan la capacidad fisiológica y funcional del tejido muscular, es la calidad muscular (CM) [46]. Su evaluación nos puede entregar la capacidad del músculo para generar fuerza, potencia o funcionalidad. La CM se compone de cuatro dimensiones (composición muscular, arquitectura, ultraestructura y

unidad funcional (sarcómero)) y dos índices, (Fuerza relativa e índice de calidad muscular (MQI)).

Particularmente el MQI ha demostrado ser un importante indicador de calidad muscular el último tiempo, por evaluar la potencia muscular en la población de adultos mayores [47], Consiste en tomar el tiempo que lleva al participante ir de la posición de sentado a estar de pie desde una silla un cierto número de veces o determinar el número de veces que lo realiza en un tiempo determinado. Debido a que es una prueba que presenta un bajo requerimiento de material, espacio y tiempo ha sido descrito como uno de los mejores test funcionales para valorar la capacidad funcional y calidad de vida en la población de adultos mayores [4][48]. Además, se ha utilizado como agente terapéutico en diferentes poblaciones y ha mostrado resultados favorables [49], [50].

La potencia muscular es un factor clave para la salud y el bienestar de los individuos, ya que no sólo permite realizar actividades físicas cotidianas [51], sino que también juega un papel crucial en la prevención de enfermedades crónicas y en el aumento de la calidad de vida a medida que envejecemos [52]. La pérdida de potencia muscular, que puede ocurrir independientemente de la pérdida de masa muscular, tiene consecuencias graves como la disminución de la movilidad, independencia, el riesgo de caídas y la calidad de vida [53], [54]. Por el contrario, mantener niveles óptimos de potencia muscular puede mejorar las habilidades atléticas, reducir el riesgo de lesiones [55] y estar asociado con una reducción en los gastos de atención médica y la mortalidad [36].

La potencia muscular se define como el producto de la fuerza y la velocidad de contracción muscular, y su desarrollo implica tanto factores morfológicos como

neuronales [3]. Por lo tanto, es necesario considerar tanto los parámetros funcionales como estructurales para su evaluación [11]. En este escenario, conocer la arquitectura muscular proporcionaría una visión más completa de la función muscular [24]. La arquitectura muscular es uno de los componentes más determinantes en la función del músculo [56]. Estudios recientes han determinado la relación entre los parámetros arquitectónicos del músculo y los componentes funcionales y de salud [57]. A pesar de la importancia de la arquitectura muscular en la capacidad de generar potencia muscular y los beneficios que podría entregarnos su evaluación con el MQI, aún no está clara la relación entre el MQI y los parámetros de la arquitectura muscular. Por esta razón, el tercer estudio de esta tesis doctoral es: **“Determinar la asociación entre los parámetros de la arquitectura muscular y el índice de calidad muscular”**.

Se reconoce ampliamente que incorporar el ejercicio a la vida diaria es esencial para mantener una buena salud [58], pero muchas personas tienen dificultades debido a la falta de tiempo y motivación [59], [60]. Por lo tanto, es importante crear rutinas eficientes y de bajo coste que requieran poco tiempo para aumentar la adherencia, especialmente en los adultos mayores [61]. Esto representa un desafío para los profesionales de la salud y del deporte que deben encontrar formas de motivar a los pacientes a seguir los programas de ejercicio para lograr resultados positivos [62].

Una opción de entrenamiento alternativa para esta situación es usar el STS como método de entrenamiento, donde se ha demostrado una mejora en el rendimiento, el equilibrio y la fuerza después de las intervenciones de STS[49],

[63]. En este contexto, la tarea de STS podría evaluar y mejorar de manera efectiva la potencia muscular en individuos sedentarios, ya que requiere fuerza y velocidad para realizar movimientos. Sin embargo, existen pocos estudios que utilicen esta prueba como método de intervención en individuos sedentarios, especialmente si pretendemos evaluar su efecto sobre la función y la arquitectura muscular. Por lo tanto, los objetivos del cuarto estudio fueron: **“Comparar el efecto de dos modalidades de entrenamiento STS en los parámetros de la arquitectura muscular y Determinar el efecto de ocho semanas del entrenamiento a través de dos modalidades STS en los parámetros de la arquitectura muscular y el índice de calidad muscular.”**.

La determinación de las capacidades máximas de fuerza, velocidad y potencia es una práctica frecuente en el ámbito del rendimiento físico y la rehabilitación [64]. Dichas capacidades se evalúan a través de diversos protocolos y técnicas, como la fuerza máxima, la velocidad máxima y la potencia máxima [65]. No obstante, el campo sigue enfrentando retos en la medición precisa de estos aspectos, especialmente cuando los ejercicios se realizan contra la gravedad, como en el caso de la sentadilla o el press de banca [66].

En este contexto, ha surgido recientemente el interés por la relación carga-velocidad (LV) como una alternativa prometedora para evaluar las capacidades neuromusculares máximas [67]. Esta relación se refiere a la relación entre la carga externa levantada y la velocidad de movimiento, y se modela a través de una regresión lineal simple. Dicha regresión nos permite determinar la pendiente

de la relación LV (LVs), la intercepción del eje de carga (es decir, carga a velocidad cero; L_0) y la velocidad a carga cero (V_0)[68] .

Estas variables derivadas de la relación LV, podrían proveer indicadores más sencillos y amplios de la capacidad individual para aplicar fuerza a velocidades bajas y altas, respectivamente. Asimismo, una variable adicional que puede derivarse de la combinación de L_0 y V_0 es el área bajo la línea de la relación LV (A_{line}), que podría funcionar como indicador de la capacidad máxima de potencia de un individuo [69].

No obstante, el uso de la relación LV y sus variables derivadas en la práctica clínica y de investigación aún no ha sido explorado en profundidad. Además, la relación de estos indicadores con otros aspectos clave del rendimiento y la salud muscular, como la arquitectura muscular, sigue siendo poco clara.

Por ello, el quinto estudio tiene como objetivo: **“Determinar la asociación entre las variables derivadas del perfil carga-velocidad y los parámetros de la arquitectura muscular, utilizando el test de sentarse y levantarse (Sit-to-Stand, STS) y un dinamómetro electromecánico funcional con cargas incrementales.”**

Para abordar esta demanda, concretamente, utilizaremos un dinamómetro electromecánico funcional (DEMF) para realizar mediciones precisas de la carga y la velocidad durante el test STS con cargas incrementales, y examinaremos cómo estas variables se relacionan con la arquitectura muscular. A través de este enfoque, esperamos contribuir a una mejor comprensión de los factores que influyen en la relación carga-velocidad, y proporcionar información que

pueda ayudar a optimizar las estrategias de entrenamiento para mejorar la capacidad funcional y la calidad de vida.

OBJETIVOS

Objetivo general: Determinar la relación entre el perfil fuerza-velocidad, capacidad funcional y los parámetros arquitectónicos del músculo en población adulta.**Estudio 1: Efectos del ejercicio excéntrico en la arquitectura muscular: una revisión sistemática**

Objetivos específicos:

- Determinar el efecto del ejercicio excéntrico en los parámetros de la arquitectura muscular.

Estudio 2: Influencia de la Posición de la Sonda en la Medición del Grosor Muscular y su Asociación con la Masa Magra: Un Estudio Ecográfico

Objetivos específicos

- Determinar si existen diferencias entre la medición del grosor muscular con la sonda transversal y longitudinal en el músculo vasto lateral
- Determinar la asociación entre la medición con la sonda en posición transversal y la masa magra de los miembros inferiores
- Determinar la asociación entre la medición con la sonda en posición longitudinal y la masa magra de los miembros inferiores

Estudio 3: Asociación entre la arquitectura muscular y el índice de calidad muscular en adultos sedentarios

- Determinar la asociación entre los parámetros de la arquitectura muscular y el índice de calidad muscular

- Determinar la asociación entre los parámetros de la arquitectura muscular y la potencia media relativa de STS

Estudio 4: Efecto del entrenamiento de sit to stand sobre la calidad muscular en adultos sedentarios

- Comparar el efecto de dos modalidades de entrenamiento STS en los parámetros de la arquitectura muscular y el índice de calidad muscular.
- Determinar el efecto de ocho semanas del entrenamiento a través de dos modalidades de STS en la arquitectura muscular y el índice de calidad muscular.

Estudio 5: Perfil carga velocidad a través del sit to stand test y su relación con la arquitectura muscular utilizando un dinamómetro electromecánico funcional con cargar incrementales

- Determinar la asociación entre las variables derivadas del perfil carga-velocidad y los parámetros de la arquitectura muscular.

MATERIAL Y MÉTODO

Los aspectos más relevantes de la metodología de investigación de cada estudio se presentan resumidamente en la tabla 1. Además, se presenta la información más detalla de cada uno de los estudios que conforman la presente Tesis Doctoral.

Tabla 1. Detalle del diseño y tamaño de la muestra en los estudios

Estudio	Diseño	Muestra
1	Revisión Sistemática	n: 18 estudios
2	No experimental, descriptivo	n: 60 <i>Femenino / Masculino: 22/38, Edad (años): 39.5 ± 12.5. Altura (cm): 163.1 ± 9.3, Masa corporal (kg): 77.5 ± 14.5, IMC (Kg x m2): 29.1 ± 5.0, Longitud miembro inferior (m): 0.8 ± 0.05, Media masa magra miembros inferiores (kg): 9.3 ± 1.9.</i>
3	No experimental descriptivo	n: 60 <i>Femenino / Masculino: 22/38, Edad (años): 39.5 ± 12.5. Altura (cm): 163.1 ± 9.3, Masa corporal (kg): 77.5 ± 14.5, IMC (Kg x m2): 29.1 ± 5.0, Longitud miembro inferior (m): 0.8 ± 0.05, Media masa magra miembros inferiores (kg): 9.3 ± 1.9.</i>
4	Experimental	n : 58 <i>5STS: 11 Femenino/ 9 Masculino, Edad (años): 42 ± 3.6, Altura (cm): 162 ± 9.0, Masa corporal (kg): 80 ± 3.2, IMC: 30 ± 5.2, Longitud miembro inferior (m): 0.8 ± 0.1, Masa magra miembros inferiores (kg): 8.7 ± 1.8.</i> <i>10STS: 15 Femeninos / 4 masculinos, Edad (años): 42 ± 9.7, Altura (cm): 162 ± 7.6, Masa corporal (kg): 75 ± 14.3, IMC: 28 ± 4.1, Longitud miembro inferior (m): 0.8 ± 0.1, Masa magra miembro inferior (kg): 9.3 ± 1.9.</i> <i>CG: 9 Femeninos/ 10 Masculinos, Edad (años): 33 ± 12.0, Altura (cm): 167 ± 9.3, Masa corporal (kg): 80 ± 16.3, IMC: 28 ± 5, 0.8 ± 0.04, Masa magra miembro inferior (kg): 9.9 ± 2.</i>
5	No experimental, descriptivo	n: 28 <i>Femenino / Masculino: 7/21, Edad (años): 26.2 ± 5.3</i> <i>Altura (cm): 173.3 ± 9.6, Masa corporal (kg): 75.6 ± 13.8, IMC (Kg x m2): 25.0 ± 2.8, Longitud miembro inferior (m): 0.8 ± 0.05, Total masa magra (kg): 56.7 ± 21, Tiempo 5 STS test (s): 5.8 ± 1.4, Tiempo 10 STS test (s): 10.4 ± 2.2.</i>

Los valores se muestran como media ± desviación estándar

5STS: Grupo de intervención 1; 10STS: Grupo de intervención 2; CG: Grupo Control.

Estudio 1

Registro de la revisión sistemática:

Se utilizó la lista de verificación de los Elementos de Información Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis (PRISMA). El protocolo de esta revisión se registró en la base de datos internacional para registrar revisiones sistemáticas (INPLASY) (2021120094).

Estrategia de búsqueda:

La búsqueda fue realizada por dos autores (RL-P y DJ-M). Las bases de datos utilizadas fueron Pubmed, Scopus, SPORTDiscus y Web of Science. La búsqueda se realizó sin restricción en la fecha de publicación hasta marzo de 2021. Se incluyeron las siguientes palabras clave: "eccentric training", "eccentric contraction", "eccentric exercise", "lengthening contraction", "negative work", "muscle architecture", "pennation angle", "fibre length", "fiber length", "fascicle length", "cross sectional area", "muscle thickness", utilizando los operadores booleanos (AND / OR).

Criterios de elegibilidad:

Se incluyeron en esta revisión los artículos que cumplieron con los siguientes criterios: (I) sujetos mayores de 18 años, (II) programa de entrenamiento excéntrico de más de cuatro semanas, (III) estudios con diseño de ensayo clínico aleatorizado, (IV) estudios que informan medidas de arquitectura muscular: "ángulo de penación", "longitud de fascículo", "grosor muscular", (V) texto completo disponible y (VI) artículos en inglés. Además, se excluyeron todos aquellos artículos que (I) contemplaron programas de entrenamiento excéntrico de menos de cuatro semanas, (II) presentaciones en

conferencias, tesis, libros, editoriales, artículos de revisión y opiniones de expertos, (III) artículos duplicados y (IV) artículos en los que los autores principales o secundarios no respondieron a las solicitudes por correo electrónico.

Selección de los estudios:

Los artículos recuperados de la búsqueda fueron ingresados en la aplicación Rayyan QCRI [70]. Esta aplicación ayuda en el proceso de selección de artículos, optimizando el tiempo de revisión y permitiendo el trabajo colaborativo entre investigadores. (Disponible de forma gratuita en <http://rayyan.qcri.org>, consultada el 27 de marzo de 2021). Se eliminaron los artículos duplicados y dos investigadores (RL-P y DJ-M) revisaron de forma independiente los títulos y resúmenes para identificar los artículos que cumplían con los criterios de elegibilidad. En caso de discrepancias, se consultó a un tercer investigador (LC-R) y se resolvió por consenso. Finalmente, se leyeron en su totalidad los artículos seleccionados y se revisó la lista de referencias para incluir artículos relevantes.

Extracción de datos:

Se utilizó una plantilla de Excel para la extracción de datos de cada artículo seleccionado para revisión. Se consideró la siguiente información: autor, año, objetivo, parámetro arquitectónico, tamaño de la muestra, edad, población, nivel de actividad física, número de participantes, protocolo de entrenamiento excéntrico, resultados y conclusiones.

Evaluación de la calidad metodológica:

La calidad de la evidencia de los artículos incluidos en esta revisión fue evaluada utilizando la escala PEDro. Esta se basa en criterios que determinan si los ensayos clínicos aleatorizados poseen suficiente validez interna e información estadística para interpretar los resultados. Se consideran aspectos de validez externa (ítem 1), validez interna (ítems 2-9) y reporte estadístico (ítems 10-11). Cada ítem se clasifica como sí o no (1 o 0), dependiendo de si el estudio cumplió el criterio. La puntuación total abarca del ítem 2 al 11, de modo que la puntuación máxima es 10 [71]. Dos investigadores independientes (RL-P y DJ-M) evaluaron los artículos utilizando esta escala. En caso de discrepancia, se consultó a un tercer evaluador (LC-R). Respecto a la calidad de la evidencia, se ha sugerido que las puntuaciones inferiores a 4 se consideran de calidad pobre; de 4 a 5, moderada; de 6 a 8, buena; y de 9 a 10, excelente [71].

Estudio 2

Este estudio fue realizado en el Laboratorio del Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad San Sebastián, sede Valdivia, Chile. Su protocolo de evaluación fue aprobado por comité de ética científico de la Universidad de Granada, España (2380/CEIH/2021) y de la Universidad San Sebastián, Chile (55-2021-20).

Estimación del tamaño de la muestra

Se consideró un estudio con características similares [72] y se determinó el número de participantes requeridos para obtener una potencia estadística del 80% y un nivel de significancia estadística al 5%, tamaño del efecto 0,4. La

muestra estimada para el estudio correspondió a 44 participantes. Sin embargo, para estos estudios se logró reclutar 60 participantes.

Participantes

A cada participante se entregó un formulario de consentimiento informado donde se detalla la información del estudio, respetando los principios de la Declaración de Helsinki. Los participantes seleccionados en este estudio cumplían con los siguientes criterios: ser mayores de 18 años y que hayan firmado el consentimiento informado. Las características de los participantes se resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Características de los participantes

Variable	Media ± DS
Tamaño muestra	60
Femenino / Masculino:	22/38
Edad (años)	39.5 ± 12.5
Altura (cm)	163.1 ± 9.3
Masa corporal (kg)	77.5 ± 14.5
IMC (Kg x m²)	29.1 ± 5.0
Longitud miembro inferior (m):	0.8 ± 0.05
Masa magra media de miembros inferiores (kg)	9.3 ± 1.9
Tiempo 5 STS test	4.9 ± 0.9

IMC: Índice de masa corporal; Los valores se muestran como media ± desviación estándar (DS)

Evaluación ecográfica

Se utilizaron imágenes de ultrasonido para evaluar el grosor muscular (MT) en el miembro dominante de cada participante. Una sonda lineal programada en modo B, con un rango de frecuencia de 7,5 a 10 MHz y una profundidad de 8 cm (Sonus, DUO LCP) fue posicionada el eje longitudinal y transversal del músculo

vasto lateral (VL). La sonda fue cubierta con mucho gel conductor para prevenir la presión de la piel. Los participantes fueron posicionados en el borde de una camilla con una flexión de rodillas de 90° e instruidos a relajar su musculatura el tiempo de la medición, del mismo modo se les solicitó no haber realizado ejercicio físico 48 horas antes de la evaluación. Las mediciones fueron tomadas en el 50 % de la distancia entre el punto más proximal del trocánter mayor y el punto más distal del cóndilo lateral del fémur. Fueron capturadas tres imágenes en el sitio de la evaluación durante la sesión y se procuró que el fémur quede en el centro de la imagen para estandarizar cada evaluación en caso de la medición transversal. Se utilizó el software (ImageJ 1.42; National Institutes of Health, Bethesda, Maryland USA) para procesar y analizar las imágenes. Se determinó MT como la distancia entre la aponeurosis profunda y superficial. Para calcular el valor total de MT en el eje longitudinal, se tomaron 3 medidas en cada imagen desde el límite inferior de la aponeurosis superficial hasta el límite superior de la aponeurosis profunda, la primera medición se realizó en el extremo izquierdo de la imagen, la segunda en el centro y la tercera en el extremo derecho, las cuales fueron promediadas. Para determinar el valor total de MT en el eje transversal se tomaron dos medidas en cada imagen, la primera desde el punto de la aponeurosis profunda que estuvo más cercana a la aponeurosis superficial y el límite inferior de la aponeurosis superficial, y la segunda desde el punto más lejano de la aponeurosis profunda a la aponeurosis superficial y el límite inferior de la aponeurosis superficial. Todas las medidas fueron promediadas para calcular el valor de total de MT (Figura 1).

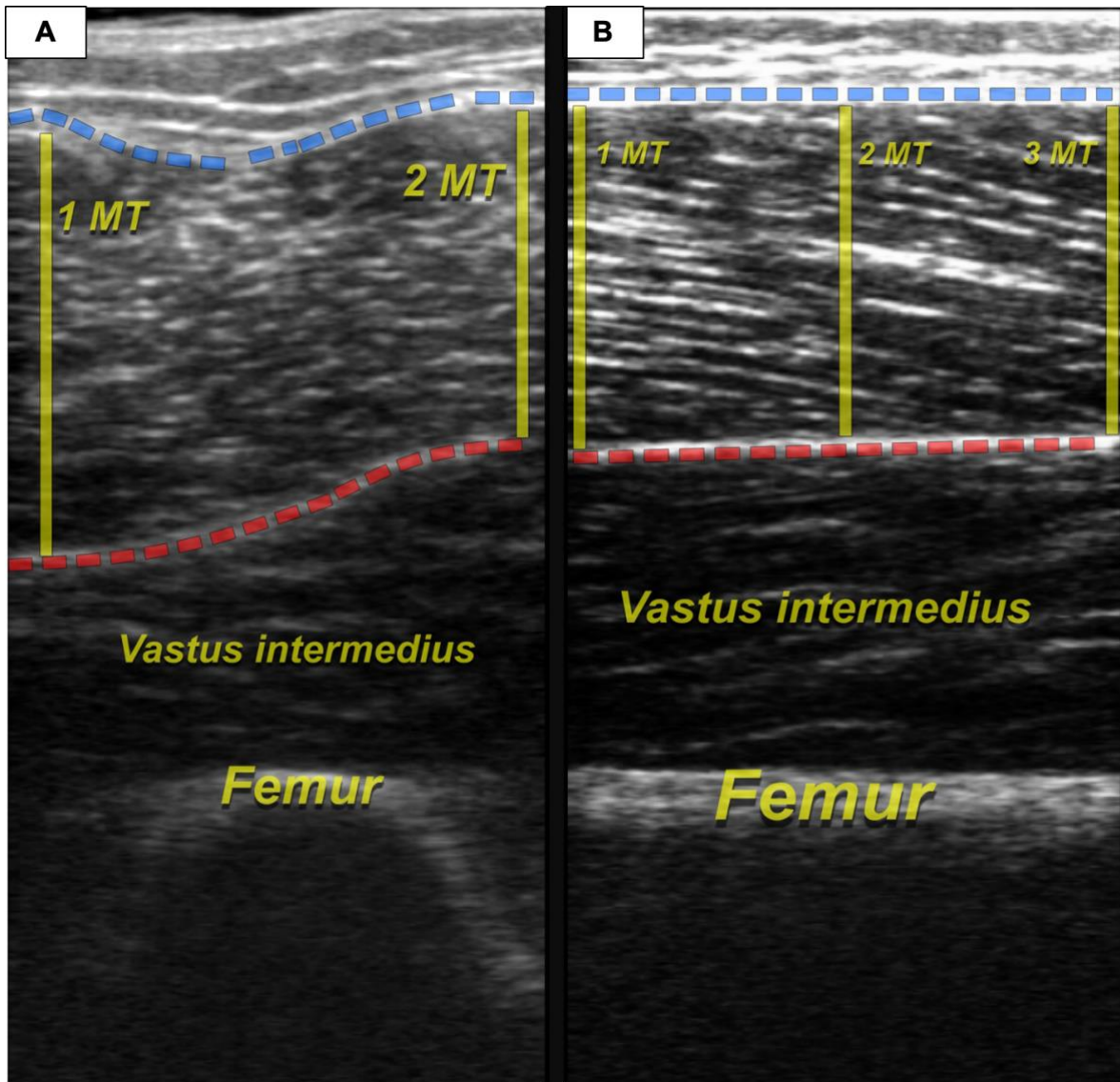


Figura 1. Mediciones que se realizaron para cada imagen. A: Imagen extraída con la sonda en posición transversal; B: Imagen extraída con la sonda en posición longitudinal; líneas punteadas azules: aponeurosis superficial; líneas punteadas rojas: aponeurosis profunda; MT1, 2 y 3: Número de mediciones del grosor muscular.

Medidas antropométricas

La composición corporal, junto con la masa magra de los miembros inferiores fueron evaluadas usando una análisis de bioimpedancia bioeléctrica tetrapolar (Rice Lake Body Composition D1000-3, Full Body, USA). La estatura fue evaluada usando un estadiómetro portable (SECA, Model 213, Hamburg; Germany to 0.1 cm). La longitud del miembro inferior dominante fue evaluada manualmente usando una cinta métrica, basándonos en un protocolo de medición antropométrica [73] y se determinó la longitud del miembro inferior como la distancia (en metros) entre el punto prominente más proximal del Fémur y el punto distal más prominente el maléolo lateral de la Fíbula [74].

Análisis estadístico

Los datos descriptivos se presentan como media \pm desviación estándar (SD), y la normalidad se verificó mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la correlación entre las mediciones de MT y la masa magra de los miembros inferiores, del mismo modos se utilizó la prueba t de student muestras pareadas para determinar si existe diferencias entre la medidas transversales y longitudinales de MT. Adicionalmente, se midió el tamaño del efecto con el *Efecto d de Cohen*. Se utilizó la siguiente escala para interpretar la magnitud del tamaño del efecto: < 0.20 = trivial, $0.20 - 0.59$ = pequeño, $0.60 - 1.19$ = moderado, $1.20 - 2.00$ = grande, y > 2.00 = muy grande [75]. Todos los análisis se realizaron utilizando el software JASP (versión 0.17), y se consideró una significación estadística de $P \leq 0,05$.

Estudio 3

Este estudio fue realizado en el Laboratorio del Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad San Sebastián, sede Valdivia, Chile. Su protocolo de evaluación fue aprobado por comité de ética científico de la Universidad de Granada, España (2380/CEIH/2021) y de la Universidad San Sebastián, Chile (55-2021-20).

Estimación del tamaño de la muestra

Se consideró un estudio con características similares [72] y se determinó el número de participantes requeridos para obtener una potencia estadística del 80% y un nivel de significancia estadística al 5%, tamaño del efecto 0,4. La muestra estimada para el estudio correspondió a 44 participantes. Sin embargo, para estos estudios se logró reclutar 58 participantes.

Participantes

Los participantes seleccionados para estos estudios cumplían los siguientes criterios: 18 años de edad o más, sedentarios y capaces de realizar STS de forma independiente. Por otro lado, se excluyó a los participantes si estaban profesionalmente involucrados en deportes o entrenamiento de resistencia, tenían hipertensión no tratada, presentaban una lesión neuromuscular o articular aguda, o habían sufrido un infarto agudo de miocardio o fractura en los últimos seis meses. Las características de los participantes se resumen en la tabla 3.

Tabla 3. Características de los participantes

Variable	Media ± DS
Tamaño muestra	58
Femenino / Masculino:	35/23
Edad (años)	39.1 ± 12.5
Altura (cm)	163.6 ± 8.9
Masa corporal (kg)	77.5 ± 14.6
IMC (Kg x m²)	28.9 ± 4.9
Longitud miembro inferior (m):	0.8 ± 0.05
Masa magra media de miembros inferiores (kg)	9.3 ± 1.9
Tiempo 5 STS test (s)	4.9 ± 0.9
MQI	523.3 ± 159.9
Potencia media relativa de STS (W·Kg⁻¹)	6.8 ± 1.3
MT (cm)	2.5 ± 0.5
FL (cm)	10.1 ± 2.2
PA (°)	12.1 ± 2.3

IMC = índice de masa corporal; MQI = índice de calidad muscular; MT = grosor muscular; FL = longitud del fascículo; PA = ángulo de penetración.

Los valores se muestran como media ± desviación estándar (DS)

Evaluación ecográfica

En este estudio, se utilizaron imágenes de ultrasonido para evaluar el grosor muscular (MT), el ángulo de penetración (PA) y la longitud del fascículo (FL) en la extremidad inferior dominante de cada participante. La sonda se colocó en el eje longitudinal del VL, y se utilizó una sonda lineal en modo B con un rango de frecuencia de 7.5 a 10 MHz a una profundidad de 8 cm (Sonus, DUO LCP). La sonda se cubrió con un gel soluble en agua para prevenir la presión en la piel. Los participantes estaban sentados con las rodillas flexionadas a 90° y se les instruyó para que relajaran sus músculos en el momento de la medición y evitaran hacer ejercicio durante 48 horas antes de la evaluación. Las mediciones

se tomaron al 50% de la distancia entre punto palpable más proximal del trocánter mayor y punto palpable más distal del cóndilo lateral del fémur, se capturaron tres imágenes en el sitio de la medición en la sesión de evaluación. Se utilizó el software ImageJ (ImageJ 1.42; National Institutes of Health, Bethesda, Maryland USA,) para procesar y analizar las imágenes. Se determinó MT como la distancia entre la aponeurosis profunda y superficial. Para calcular el valor total de MT, se tomaron 3 medidas en cada imagen desde el límite inferior de la aponeurosis superficial hasta el límite superior de la aponeurosis profunda, la primera medición se realizó en el extremo izquierdo de la imagen, la segunda en el centro y la tercera en el extremo derecho, las cuales fueron promediadas PA se determinó como el ángulo entre el fascículo y la aponeurosis profunda. Para calcular el PA se determinaron los tres fascículos más evidentes de cada imagen, se siguieron hasta el punto de encuentro con la aponeurosis profunda y se midió el ángulo. Para calcular el valor total de PA se promediaron todas las mediciones. FL se calculó utilizando la siguiente fórmula: $FL = \sin(\gamma + 90^\circ) \times MT / \sin(180^\circ - (\gamma + 180^\circ - PA))$, donde γ es el ángulo entre las aponeurosis superficial y profunda, y AP es el ángulo de penación [76], [77]. Todas las mediciones y análisis de imágenes fueron realizados por el mismo investigador.

Medidas antropométricas

La composición corporal, junto con la masa magra de los miembros inferiores fueron evaluadas usando una análisis de bioimpedancia bioeléctrica tetrapolar (Rice Lake Body Composition D1000-3, Full Body, USA). La estatura fue

evaluada usando un estadiómetro portable (SECA, Model 213, Hamburg; Germany to 0.1 cm). La longitud del miembro inferior dominante fue evaluada manualmente usando una cinta métrica, basándonos en un protocolo de medición antropométrica [73] y se determinó la longitud del miembro inferior como la distancia (en metros) entre el punto prominente más proximal del Fémur y el punto distal más prominente el maléolo lateral de la Fíbula [74].

Evaluación del sit to stand test (STS)

Se estableció el tiempo requerido para que los participantes completaran cinco repeticiones del ejercicio de levantarse y sentarse. Durante la evaluación, se aconsejó a los participantes que realizaran las repeticiones lo más rápido posible, con los brazos cruzados sobre el pecho a nivel de los hombros. Se cronometraron tres series de cinco repeticiones, con un intervalo de descanso de un minuto entre cada serie. El tiempo más rápido registrado fue seleccionado para un análisis posterior [78].

Evaluación índice de calidad muscular

El Índice de Calidad Muscular (MQI) se calculó utilizando la fórmula propuesta por Fragala et al. [79]. Esta fórmula utiliza el tiempo requerido para realizar cinco repeticiones de sentarse a pararse (STS): $MQI = ((\text{longitud de la pierna} \times \text{altura de la silla}) \times \text{masa corporal} \times \text{gravedad} \times 10 / \text{Tiempo STS})$. Se toma en consideración la longitud de la pierna en metros, la altura de la silla utilizada en la prueba, la masa corporal en kilogramos, la aceleración debido a la gravedad (9.81 m/s^2), y una constante de 10. Además, se calculó la Potencia Media Relativa STS ($W \cdot \text{Kg}^{-1}$) utilizando los resultados de la prueba de sentarse

a pararse cinco veces (5STS), según lo propuesto por Alcazar et al. [78], la fórmula utilizada para este cálculo es la siguiente:

Potencia Media Relativa STS = $0.9 \times \text{gravedad} \times \text{Altura} [0.5 \times \text{Altura de la silla}] / (\text{Tiempo de cinco STS} \times 0.1)$.

Análisis estadístico

Los datos descriptivos se presentan como media \pm desviación estándar (SD), y la normalidad se verificó mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la correlación entre las mediciones de MT, PA y FL con MQI y la potencia media relativa de STS. Todos los análisis se realizaron utilizando el software JASP (versión 0.17), y se consideró una significación estadística de $p \leq 0.05$.

Estudio 4

Diseño del estudio

Este fue un ensayo aleatorio de tres brazos y de grupos paralelos. El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Ciencias Básicas, de la Universidad San Sebastián, Valdivia, Chile. El reclutamiento se realizó a través de las redes sociales y correo electrónico durante los meses de junio, julio y agosto de 2022. El protocolo del estudio fue aprobado por el Comité de Ética Científica de la Universidad de Granada, España (2380/CEIH/2021) y de la Universidad San Sebastián, Chile (55-2021-20). Y del mismo modo, ha sido registrado en el Sistema de Registro y Resultados de Protocolos (<https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT05469191>) .

Asignación

Los participantes fueron asignados de manera aleatoria a uno de dos grupos de intervención o a un grupo de control. El primer grupo de intervención realizó 5 repeticiones de sit to stand (5STS), el segundo grupo de intervención realizó 10 repeticiones de sit to stand (10STS).

Se generó una secuencia de aleatorización utilizando Stata 17.0 con bloques de diferentes tamaños que se combinaron aleatoriamente. La asignación se realizó en una proporción de uno a uno, y se garantizó la ocultación de la asignación mediante el uso de sobres sellados.

Estimación del tamaño de la muestra

Se utilizó un software estadístico (G*Power, v3.1.9.7, Heinrich-Heine-Universität, Alemania) para calcular el tamaño de la muestra. Se utilizó un tamaño del efecto moderado de 0.95, obtenido de un estudio previo [48]. Considerando lo anterior y una potencia deseada ($\text{error } 1-\beta = 0.95$, error $\alpha < 0.05$), el tamaño total de la muestra fue de 18 participantes por grupo. Sin embargo, en previsión de posibles abandonos del estudio, se incluyeron 20 participantes por grupo.

Participantes

Los participantes seleccionados para este estudio cumplían con los siguientes criterios: 18 años de edad o más, sedentarios y capaces de realizar STS de forma independiente. Por otro lado, se excluyó a los participantes si estaban profesionalmente involucrados en deportes o entrenamiento de

resistencia, tenían hipertensión no tratada, lesión neuromuscular o articular aguda, o habían sufrido un infarto agudo de miocardio o fractura en los últimos seis meses. Se obtuvieron formularios de consentimiento informado por escrito de todos los participantes antes del inicio de las intervenciones, detallando la información del estudio, que seguía los principios de la Declaración de Helsinki.

Procedimientos

A todos los participantes se les invitó a una visita de familiarización en el laboratorio. Durante esta visita, se evaluaron las variables descriptivas, biométricas y médicas de cada participante. También determinamos si los participantes cumplían o no con los criterios de inclusión. Además, se evaluó la arquitectura muscular del VL del miembro inferior dominante.

Se llevaron a cabo sesiones de trabajo sincrónicas y asincrónicas. Todas las sesiones de entrenamiento, tanto sincrónicas como asincrónicas, fueron meticulosamente diseñadas y supervisadas. Las sesiones sincrónicas fueron supervisadas directamente por el investigador principal, asegurando que los tiempos de descanso y la intensidad del entrenamiento se controlaran de manera constante. Para las sesiones asincrónicas, los participantes fueron previamente familiarizados con los componentes del entrenamiento, lo que les permitió gestionar los tiempos de descanso, mantener niveles de intensidad apropiados y garantizar la seguridad durante sus rutinas de ejercicio. Para verificar que las sesiones asincrónicas estaban siendo realizadas correctamente por los participantes, se les pidió que enviaran un video de la sesión. En promedio, ambos tipos de sesiones tuvieron una duración de 2.7 ± 2.4 minutos.

Los tiempos de descanso fueron monitoreados para garantizar que se ejecutara correctamente el protocolo, y se utilizó una escala Borg CR-10 para evaluar la percepción del esfuerzo [80]. Como parte del protocolo de seguridad, se estableció un esfuerzo percibido de 6 como el límite máximo para cada serie. Si este valor se excedía, se instruyó a los participantes a detener la rutina. La escala fue explicada a cada participante, y se familiarizaron con la percepción del esfuerzo antes de que comenzara la intervención. Se realizó una nueva evaluación de las variables una semana después de completar el protocolo (Figura 2). Todos los participantes completaron el 100% de las sesiones de entrenamiento.

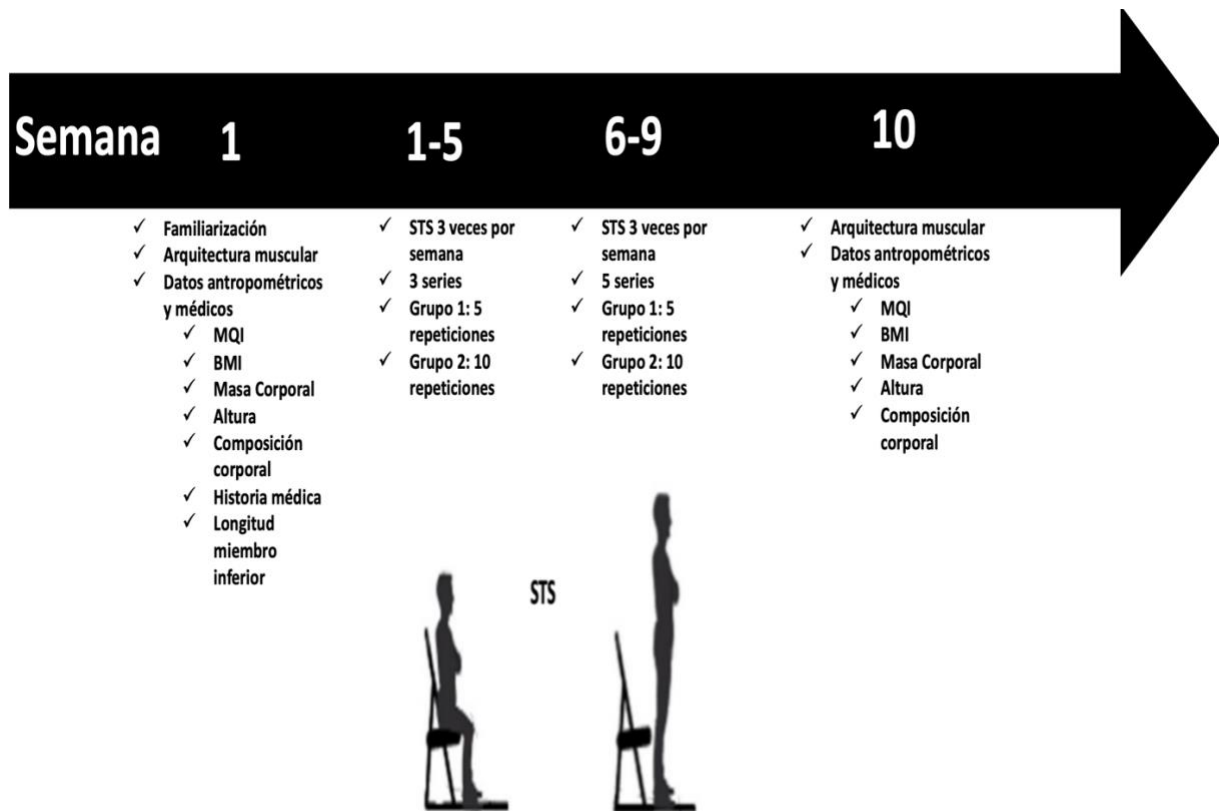


Figura 2. Diseño de la investigación.

Programa de Entrenamiento de Sit-to-Stand

Durante las primeras cuatro semanas, los grupos de 5STS y 10STS realizaron el ejercicio de STS tres veces por semana. El grupo 5STS realizó tres series de cinco repeticiones, y el grupo 10STS tres series de diez repeticiones. Se consideró un tiempo de descanso de 30/60 s para cada serie. Durante las últimas cuatro semanas, el número de series aumentó a cinco para continuar progresando en el entrenamiento. Es importante señalar que se pidió a los participantes realizar cada serie de movimientos STS lo más rápido posible y contra el reloj. Los tiempos de descanso se controlaron para garantizar que se realizaba correctamente el protocolo, y se utilizó una escala Borg CR-10 para evaluar la percepción del esfuerzo[80].

Medidas antropométricas

La composición corporal, junto con la masa magra de los miembros inferiores fueron evaluadas usando un análisis de bioimpedancia bioeléctrica tetrapolar (Rice Lake Body Composition D1000-3, Full Body, USA). La estatura fue evaluada usando un estadiómetro portable (SECA, Model 213, Hamburg; Germany to 0.1 cm). La longitud del miembro inferior dominante fue evaluada manualmente usando una cinta métrica, basándonos en un protocolo de medición antropométrica [73] y se determinó la longitud del miembro inferior como la distancia (en metros) entre el punto prominente más proximal del Fémur y el punto distal más prominente el maléolo lateral de la Fíbula [74].

Evaluación del sit to stand test (STS)

Se estableció el tiempo requerido para que los participantes completaran cinco repeticiones del ejercicio de levantarse y sentarse. Durante la evaluación, se aconsejó a los participantes que realizaran las repeticiones lo más rápido posible, con los brazos cruzados sobre el pecho a nivel de los hombros. Se cronometraron tres series de cinco repeticiones, con un intervalo de descanso de un minuto entre cada serie. El tiempo más rápido registrado fue seleccionado para un análisis posterior [78].

Evaluación Índice de calidad muscular

El Índice de Calidad Muscular (MQI) se calculó utilizando la fórmula propuesta por Fragala et al. [79]. Esta fórmula utiliza el tiempo requerido para realizar cinco repeticiones de sentarse a pararse (STS): $MQI = ((\text{longitud de la pierna} \times \text{altura de la silla}) \times \text{masa corporal} \times \text{gravedad} \times 10 / \text{Tiempo STS})$. Se toma en consideración la longitud de la pierna en metros, la altura de la silla utilizada en la prueba, la masa corporal en kilogramos, la aceleración debido a la gravedad (9.81 m/s^2), y una constante de 10.

Además, se calculó la Potencia Media Relativa STS ($W \cdot \text{Kg}^{-1}$) utilizando los resultados de la prueba de sentarse a pararse cinco veces (5STS), según lo propuesto por Alcazar et al. [78], la fórmula utilizada para este cálculo es la siguiente:

Potencia Media Relativa STS = $0.9 \times g \times \text{Altura} [0.5 \times \text{Altura de la silla}] / (\text{Tiempo de cinco STS} \times 0.1)$.

Evaluación ecográfica

En este estudio, se utilizaron imágenes de ultrasonido para evaluar el grosor muscular (MT), el ángulo de penación (PA) y la longitud del fascículo (FL) en la extremidad inferior dominante de cada participante. La sonda se colocó en el eje longitudinal del VL, y se utilizó una sonda lineal en modo B con un rango de frecuencia de 7.5 a 10 MHz a una profundidad de 8 cm (Sonus, DUO LCP). La sonda se cubrió con un gel soluble en agua para prevenir la presión en la piel. Los participantes estaban sentados con las rodillas flexionadas a 90° y se les instruyó para que relajaran sus músculos en el momento de la medición y evitaran hacer ejercicio durante 48 horas antes de la evaluación. Las mediciones se tomaron al 50% de la distancia entre punto palpable más proximal del trocánter mayor y punto palpable más distal del cóndilo lateral del fémur, se capturaron tres imágenes en el sitio de la medición en la sesión de evaluación. Se utilizó el software ImageJ (ImageJ 1.42; National Institutes of Health, Bethesda, Maryland USA,) para procesar y analizar las imágenes. Se determinó MT como la distancia entre la aponeurosis profunda y superficial. Para calcular el valor total de MT, se tomaron 3 medidas en cada imagen desde el límite inferior de la aponeurosis superficial hasta el límite superior de la aponeurosis profunda, la primera medición se realizó en el extremo izquierdo de la imagen, la segunda en el centro y la tercera en el extremo derecho, las cuales fueron promediadas PA se determinó como el ángulo entre el fascículo y la aponeurosis profunda. Para calcular el PA se determinaron los tres fascículos más evidentes de cada imagen, se siguieron hasta el punto de encuentro con la aponeurosis profunda y se midió el ángulo. Para calcular el valor total de PA se promediaron

todas las mediciones. FL se calculó utilizando la siguiente fórmula: $FL = \sin(\gamma + 90^\circ) \times MT / \sin(180^\circ - (\gamma + 180^\circ - PA))$, donde γ es el ángulo entre las aponeurosis superficial y profunda, y AP es el ángulo de penación [76], [77]. Todas las mediciones y análisis de imágenes fueron realizados por el mismo investigador.

Análisis estadístico

Los datos descriptivos se presentan como media \pm desviación estándar, y la normalidad se verificó utilizando la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Además, se calcularon el Coeficiente de Correlación Intraclase (CCI), el Error Estándar de Medición (SEM) y el Cambio Detectable Mínimo (MDC) [81]. Posteriormente, se empleó un ANOVA de medidas repetidas 2 (tiempo) \times 3 (grupo) con una prueba post hoc de Bonferroni para examinar las diferencias entre los puntos de tiempo y los grupos. El tamaño del efecto se interpretó utilizando la escala d de Cohen, en la que los valores inferiores a 0.20 se consideran triviales, entre 0.20-0.59 son pequeños, 0.60-1.19 son moderados, 1.20-2.00 son grandes, y los valores superiores a 2.00 se consideran muy grandes. Todos los análisis se realizaron utilizando el software JASP (versión 0.17). Se consideró una significación estadística de $P \leq 0.05$.

Estudio 5

Este estudio fue realizado en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Granada, España. Su protocolo de evaluación fue aprobado por comité de ética científico de la Universidad de Granada, España (2380/CEIH/2021) y de la Universidad San Sebastián, Chile (55-2021-20).

Estimación del tamaño de la muestra

Se consideró un estudio con características similares [82] y se determinó el número de participantes requeridos para obtener una potencia estadística del 80% y un nivel de significancia estadística al 5%, tamaño del efecto 0,4. La muestra estimada para el estudio corresponde a 20 participantes. Sin embargo, para este estudio se logró reclutar 28 participantes.

Participantes

Los participantes seleccionados para este estudio cumplían con los siguientes criterios: 18 años de edad o más, sedentarios y capaces de realizar STS de forma independiente. Por otro lado, se excluyó a los participantes si estaban profesionalmente involucrados en deportes o entrenamiento de resistencia, tenían hipertensión no tratada, lesión neuromuscular o articular aguda, o habían sufrido un infarto agudo de miocardio o fractura en los últimos seis meses. Se obtuvieron formularios de consentimiento informado por escrito de todos los participantes antes del inicio de las intervenciones, detallando la información del estudio, que seguía los principios de la Declaración de Helsinki. Las características de los participantes se resumen en la tabla 4.

Tabla 4. Características de los participantes

Variable	Media \pm DS
Tamaño muestra	28
Femenino / Masculino:	7/21
Edad (años)	26.2 \pm 5.3
Altura (cm)	173.3 \pm 9.6
Masa corporal (kg)	75.6 \pm 13.8
IMC (Kg x m²)	25.0 \pm 2.8
Longitud miembro inferior (m):	0.8 \pm 0.05
Total masa magra (kg)	56.7 \pm 21.3
Tiempo 5 STS test	5.8 \pm 1.4
Tiempo 10 STS test	10.4 \pm 2.2

IMC: Índice de masa corporal; 5 STS test: sit to stand test de cinco repeticiones; 10 STS test: sit to stand test de diez repeticiones; Los valores se muestran como media \pm desviación estándar (DS)

Evaluación Dinamométrica

Para determinar el perfil carga-velocidad se utilizó un Dinamómetro electromecánico funcional (DEMF) (DynaSystem, Symotech, Granada, España) con una precisión de 3 mm para desplazamiento, 100 gr para detección de carga, una frecuencia de muestreo de 1000 Hz y un rango de velocidad entre 0.05 a 2.8 m/s, junto con una silla estándar y un sistema de poleas y de sujeción. El DEMF se programó en "modo tónico", simulando un peso libre o una acción isotónica Figura 3.



Figura 3. Dinamómetro electromecánico funcional (DEMF)

Procedimientos

Los participantes fueron convocados al laboratorio para una sesión inicial de familiarización, durante la cual se evaluaron variables descriptivas, biométricas y médicas, además de tomar mediciones ecográficas. Durante esta primera visita, también se verificó si los participantes cumplían con algún criterio de exclusión para el estudio, y se los familiarizó con la medición del Perfil carga velocidad utilizando un dinamómetro. En una segunda sesión, se evaluaron los perfiles y los tiempos del test STS.

Para calcular los perfiles, se utilizó el test 10STS con el dinamómetro electromecánico de fuerza (DEMF) mediante 10 cargas incrementales. La primera repetición se realizó con una carga equivalente al 30% del peso corporal, tras lo cual se introdujeron cargas incrementales sucesivas de entre 8 y 10 kg. Estas cargas se ajustaron en el DEMF, y se realizaron 10 repeticiones sucesivas.

Antes de la evaluación, los participantes llevaron a cabo dos series del test 10 STS como calentamiento, sin carga y a velocidad normal. Se utilizó una silla de 45 cm de altura. Durante el test, los participantes estuvieron sujetos por un cinturón conectado al DEMF a través de una polea. La cuerda principal del dinamómetro se unió al cinturón mediante un mosquetón colocado justo a la altura de la sínfisis púbica (Figura 4).



Figura 4. Procedimientos para la evaluación del perfil LV con el DEMF.

Evaluación del sit to stand (STS) test

Se estableció el tiempo requerido para que los participantes completaran cinco y diez repeticiones del ejercicio de levantarse y sentarse. Durante la

evaluación, se aconsejó a los participantes que realizaran las repeticiones lo más rápido posible, con los brazos cruzados sobre el pecho a nivel de los hombros. Se cronometraron tres series de cinco repeticiones, con un intervalo de descanso de un minuto entre cada serie. El tiempo más rápido registrado fue seleccionado para un análisis posterior [78].

Con el resultado del 5 STS test se calculó el MQI utilizando la fórmula propuesta por Fragala et al. [79]. Esta fórmula utiliza el tiempo requerido para realizar cinco repeticiones de sentarse a pararse (STS): $MQI = ((\text{longitud del miembro inferior} \times \text{altura de la silla}) \times \text{masa corporal} \times \text{gravedad} \times 10 / \text{Tiempo STS})$. Se toma en consideración la longitud de la pierna en metros, la altura de la silla utilizada en la prueba, la masa corporal en kilogramos, la aceleración debido a la gravedad (9.81 m/s^2), y una constante de 10.

Perfil Carga - Velocidad

Se utilizó el DEMF para registrar los valores de velocidad en todas las repeticiones, se aplicó el método de dos puntos y se utilizaron las cargas y velocidades medias de la primera repetición (equivalente al 30 % del peso corporal) y última repetición de la fase concéntrica. Tanto la carga como la velocidad se ajustaron a un modelo de regresión lineal de mínimos cuadrados ($L[V] = L_0 - Vs$), para calcular las relaciones carga velocidad (LV). Donde L_0 representa la carga a velocidad cero y s es la pendiente de la relación L-V. Se Del mismo modo, se calculó la capacidad máxima de velocidad (V_0) y el área bajo la línea de la relación LV (A_{line}) de la siguiente manera: $V_0 = L_0/s$ y $A_{\text{line}} = L_0 \cdot V_0/2$ (Figura 5).

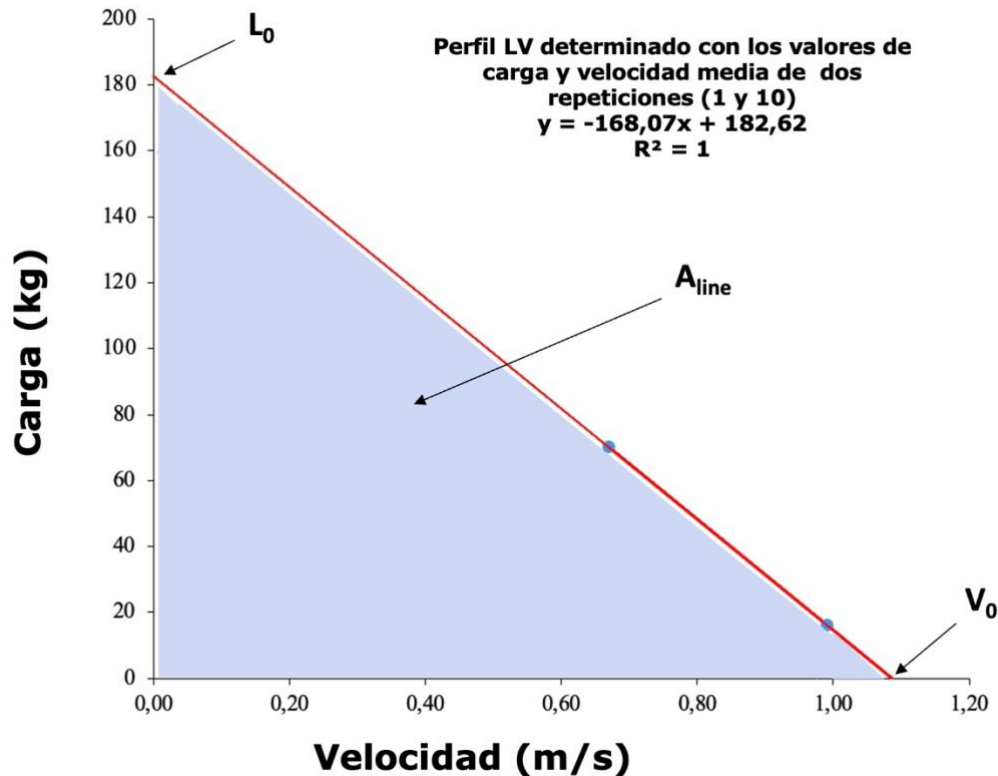


Figura 5. Representación de las 3 variables de la relación carga-velocidad obtenidas por un participante representativo durante el STS test de diez repeticiones. A_{line} , área debajo de la línea de la relación carga-velocidad; L_0 , intersección en el eje de la carga; V_0 , intersección en el eje de la velocidad.

Medidas antropométricas

La composición corporal, junto con la masa magra de los miembros inferiores fueron evaluadas usando una análisis de bioimpedancia bioeléctrica tetrapolar (Rice Lake Body Composition D1000-3, Full Body, USA). La estatura fue evaluada usando un estadiómetro portable (SECA, Model 213, Hamburg; Germany to 0.1 cm). La longitud del miembro inferior dominante fue evaluada manualmente usando una cinta métrica, basándonos en un protocolo de medición antropométrica [73] y se determinó la longitud del miembro inferior

como la distancia (en metros) entre el punto prominente más proximal del Fémur y el punto distal más prominente el maléolo lateral de la Fíbula [74].

Evaluación ecográfica

En este estudio, se utilizaron imágenes de ultrasonido para evaluar el grosor muscular (MT), el ángulo de penación (PA) y la longitud del fascículo (FL) en la extremidad inferior dominante de cada participante. La sonda se colocó en el eje longitudinal del VL, y se utilizó una sonda lineal en modo B con un rango de frecuencia de 7.5 a 10 MHz a una profundidad de 8 cm (Sonus, DUO LCP). La sonda se cubrió con un gel soluble en agua para prevenir la presión en la piel. Los participantes estaban sentados con las rodillas en 180° de extensión y se les instruyó para que relajaran sus músculos en el momento de la medición y evitaran hacer ejercicio durante 48 horas antes de la evaluación. Las mediciones se tomaron al 50% de la distancia entre punto palpable más proximal del trocánter mayor y punto palpable más distal del cóndilo lateral del fémur, se capturaron tres imágenes en el sitio de la medición en la sesión de evaluación. Se utilizó el software ImageJ (ImageJ 1.42; National Institutes of Health, Bethesda, Maryland USA,) para procesar y analizar las imágenes. Se determinó MT como la distancia entre la aponeurosis profunda y superficial. Para calcular el valor total de MT, se tomaron 3 medidas en cada imagen desde el límite inferior de la aponeurosis superficial hasta el límite superior de la aponeurosis profunda, la primera medición se realizó en el extremo izquierdo de la imagen, la segunda en el centro y la tercera en el extremo derecho, las cuales fueron promediadas PA se determinó como el ángulo entre el fascículo y la aponeurosis

profunda. Para calcular el PA se determinaron los tres fascículos más evidentes de cada imagen, se siguieron hasta el punto de encuentro con la aponeurosis profunda y se midió el ángulo. Para calcular el valor total de PA se promediaron todas las mediciones. Para calcular FL se determinó el trayecto entre la aponeurosis superficial y profunda de los tres fascículos más evidentes de se midieron de forma directa en cada imagen. Para aquellas imágenes donde el trayecto del fascículo se extendió más allá de la imagen adquirida, la porción faltante se estimó extrapolando linealmente el trayecto del fascículo y la aponeurosis[17][76], [77]. Todas las mediciones y análisis de imágenes fueron realizados por el mismo investigador.

Análisis estadístico

Los datos descriptivos se presentan como media \pm desviación estándar (SD), y la normalidad se verificó mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la correlación entre las mediciones de MT, PA y FL con las relaciones LV. Adicionalmente, se midió el tamaño del efecto con el Efecto d de Cohen y se utilizó la siguiente escala para interpretar la magnitud del tamaño del efecto: < 0.20 = trivial, $0.20 - 0.59$ = pequeño, $0.60 - 1.19$ = moderado, $1.20 - 2.00$ = grande, y > 2.00 = muy grande [75]. Todos los análisis se realizaron utilizando el software JASP (versión 0.17), y se consideró una significación estadística de $P \leq 0,05$.

RESULTADOS

A continuación se se presentan los resultados de los que componen la Tesis Doctoral:

Estudio 1

Artículos seleccionados

En la búsqueda inicial, se obtuvieron 1260 artículos. Sin embargo, 726 de estos se descartaron por ser duplicados. Además, se añadió un artículo más procedente de otra fuente. Tras una evaluación detallada de los títulos y los resúmenes, se decidió excluir 512 artículos que no cumplían con los criterios de inclusión establecidos. Esto resultó en un total de 23 artículos que fueron sometidos a un análisis de texto completo. Todos estos artículos contaban con un grupo de control, requisito esencial para esta revisión sistemática.

De estos 23 artículos, cuatro se eliminaron debido a que no evaluaron los resultados adecuadamente y uno no examinó la población objetivo que se buscaba en esta revisión. En consecuencia, se seleccionaron 18 artículos. Posteriormente, se revisaron las listas de referencias de estos 18 artículos seleccionados pero no se encontraron artículos nuevos relevantes (Figura 5). Finalmente, se incorporaron estudios relacionados para enriquecer y completar la redacción del texto.

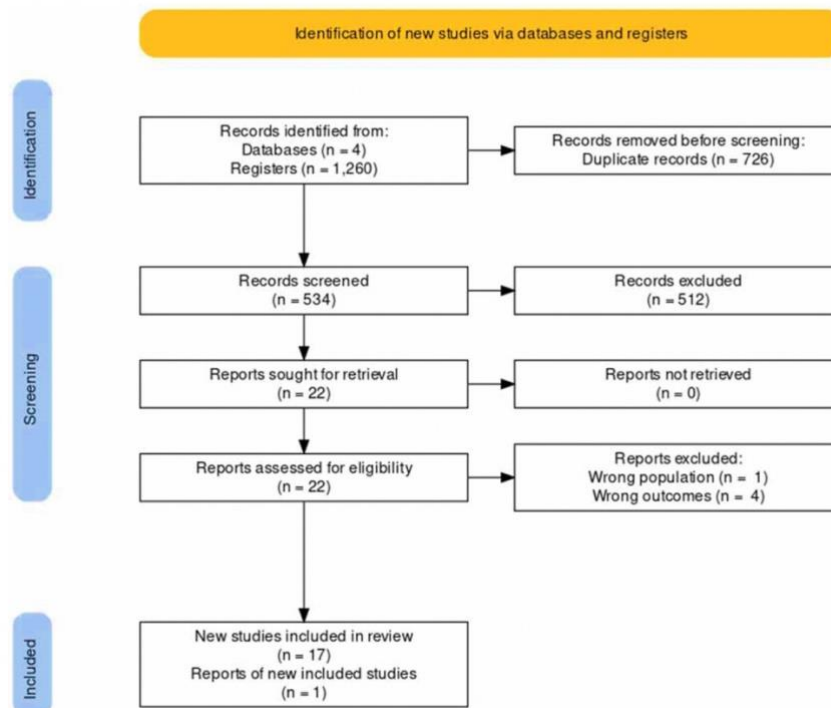


Figura 6. Diagrama de flujo de la revisión sistemática

Características de los estudios

Un total de 506 individuos conformaron la muestra de los estudios realizados, teniendo un promedio de 29.7 participantes por estudio. El rango de participantes fluctuó entre 12 y 49. Los participantes mostraron una edad promedio que oscilaba entre los 18 y los 29 años, siendo 23.4 ± 2.9 años la media. Un único estudio [83] omitió mencionar la edad de los sujetos.

El nivel de actividad física entre los participantes varió. Algunos de ellos realizaban actividad física recreativa [15], [16], [84]–[88], otros practicaban actividad física moderada [89], [90], mientras que un grupo mantenía un alto nivel de actividad física [44], [74], [83], [91]. [92]–[95]. En cuatro estudios [92]–[95], no se especifica el nivel de actividad física de los participantes.

Las características detalladas de los participantes en los estudios se pueden encontrar resumidas en la Tabla 5.

Tabla 5. Características de los participantes en los estudios

<i>Study</i>	<i>Group</i>	<i>N</i>	<i>Age (Mean ± SD)</i>	<i>Activity Level</i>
	Control	20	26.7 ± 2.8	
Alonso-Fernández <i>et al.</i> [87]	Eccentric training with heel drop exercise	25	25.2 ± 3.1	Recreational physical Activity
	Control	10	21.3±3.7	
Bourne <i>et al.</i> [86]	Nordic hamstring exercise	10	21.6±3.2	Recreational physical Activity
	Hip extension exercise	10	23.1±4.1	
Cadore <i>et al.</i> [91]	Concentric training	11	22.9 ± 7.8	
	Eccentric training	11	21.3 ± 3.3	Physically active
	Control	17		
Coratella <i>et al.</i> [84]	Isokinetic unilateral eccentric training	16		
	Dynamic constant external resistance unilateral eccentric training	16	20.5 ± 2.3	Recreational athletes
	Control	10	20 ± 1	
Guilhem <i>et al.</i> [92]	Work-matched isoload eccentric resistance training	11		
	Isokinetic eccentric resistance training	10		Not mentioned
	Sprint training	10		
Mendiguchia <i>et al.</i> [83]	Nordic hamstring exercise	12	Not mentioned	Soccer players
	Control	10	26± 2.7	
Ribeiro-Alvares <i>et al.</i> [89]	Nordic hamstring exercise	10	23.7 ± 3.3	Moderately physically active
Sanz- López <i>et al.</i> [95]	Control	10	22,8 ± 4,2	Not mentioned
	Eccentric Overload Training	10		
Sanz- López <i>et al.</i> [94]	Control	10	22,8 ± 4,2	Not mentioned
	Eccentric Overload Training	10		
Seymore <i>et al.</i> [16]	Control	10	19.9±1.2	Recreational physical Activity
	Nordic hamstring exercise	10	18.3±0.5	
Timmins <i>et al.</i> [85]	Concentric strength training	14		Recreational physical Activity
	Eccentric strength training	14	22,3 ± 4,2	
	Control	16	23.0 ± 2.8	
Marušič <i>et al.</i> [15]	Eccentric hamstring exercises in a lengthened position	18	24.2 ± 2.1	Recreational physical Activity
Marzilger <i>et al.</i> [44]	Control	13	27.2 ± 4.1	
	Four isokinetic eccentric training	28	27.1 ± 4.4	Young active
Marzilger <i>et al.</i> [74]	Control	14	27.2 ± 4,1	
	Four isokinetic eccentric training	33	27.1 ± 4,4	Young active
Timmins <i>et al.</i> [96]	Hip-dominant flywheel exercise	13		
	Nordic hamstring exercise	14	22 ± 3	Soccer players
	Control	13	20,8 ± 1,9	
Abián <i>et al.</i> [90]	Single-leg decline squat exercise (3s)	12	20,8 ± 1,9	
	Single-leg decline squat exercise (6s)	11	21.1 ± 1,2	Moderately physically active
	Control	10	26.4 ± 4.1	
Presland <i>et al.</i> [88]	Flywheel training with an additional eccentric-bias	10	29.2 ± 6.2	Recreational physical Activity
	Concentric strength training	6		
Franchi <i>et al.</i> [93]	Eccentric strength training	6	25 ± 3	Not mentioned

En esta revisión, la evaluación de la calidad metodológica fue evaluada entre los dos revisores en la totalidad de los artículos (100 %). Los resultados muestran que el 89 % de los estudios revisados tienen una calidad metodológica "Buena", con valores en la escala PEDro de 6-8. Los resultados de esta evaluación se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Evaluación de la calidad metodológica de los estudio incluidos

<i>Studies</i>	<i>Items</i>											<i>Score (/10)</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	
Alonso- Fernández <i>et al.</i> [87]	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	7/10
Bourne <i>et al.</i> [86]	N	Y	N	N	N	N	Y	N	N	Y	Y	4/10
Cadore <i>et al.</i> [91]	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	7/10
Coratella <i>et al.</i> [84]	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	8/10
Guilhem <i>et al.</i> [92]	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	7/10
Mendiguchia <i>et al.</i> [83]	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	6/10
Ribeiro-Alvares <i>et al.</i> [89]	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	6/10
Sanz- López <i>et al.</i> [95]	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	7/10
Sanz- López <i>et al.</i> [94]	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	7/10
Seymore <i>et al.</i> [16]	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	6/10
Timmins <i>et al.</i> [85]	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	7/10
Marušič <i>et al.</i> [15]	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	7/10
Marzilger <i>et al.</i> [44]	N	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	6/10
Marzilger <i>et al.</i> [74]	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	6/10
Timmins <i>et al.</i> [96]	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	7/10
Abián <i>et al.</i> [90]	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	6/10
Presland <i>et al.</i> [88]	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	7/10
Franchi <i>et al.</i> [93]	Y	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	5/10

Y= Sí; N= NO. Elementos considerados para la calificación: 1. Se especificaron los criterios de elegibilidad (Este elemento no se utiliza para calcular la puntuación PEDro.); 2. Los sujetos fueron asignados aleatoriamente a los grupos (en un estudio cruzado, a los sujetos se les asignó aleatoriamente un orden en el que se recibieron los tratamientos); 3. La asignación fue oculta; 4. Los grupos eran similares en la línea de base con respecto a los indicadores pronósticos más importantes; 5. Hubo enmascaramiento de todos los sujetos; 6. Hubo enmascaramiento de todos los terapeutas que administraron la terapia; 7. Hubo enmascaramiento de todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave; 8. Se obtuvieron medidas de al menos un resultado clave de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a grupos; 9. Todos los sujetos para quienes estaban disponibles las medidas de resultados recibieron el tratamiento o la condición de control asignada o, cuando este no fue el caso, se analizaron los datos de al menos un resultado clave por "intención de tratar"; 10. Se informan los resultados de las comparaciones estadísticas entre grupos

para al menos un resultado clave; 11. El estudio proporciona tanto medidas puntuales como medidas de variabilidad para al menos un resultado clave.

Efecto del entrenamiento de contracción excéntrica en la arquitectura muscular

El impacto del entrenamiento de fuerza excéntrica en la arquitectura muscular ha sido evaluado en quince estudios, en los que se observó los efectos del entrenamiento en la PA. De estos estudios, once registraron una disminución en la PA. En cinco de ellos [15], [83], [85], [86], [89], [96] se aplicó entrenamiento de fuerza NHE. En otros dos [94], [95], se llevó a cabo un entrenamiento de sobrecarga excéntrica. En un estudio [88] se realizó un entrenamiento excéntrico con volante, y en otros tres [44], [92], [93] se ejecutó un entrenamiento excéntrico isocinético.

Por otro lado, en cuatro estudios se encontró un aumento en la PA. En uno de ellos se implementó un entrenamiento excéntrico con un ejercicio de caída de talón [87]. En otro se realizó un entrenamiento de resistencia excéntrica con carga de trabajo [92]. En un tercer estudio se aplicó un entrenamiento con sentadillas en declive con una pierna a dos velocidades diferentes [90], y en el último se llevó a cabo un entrenamiento excéntrico isocinético unilateral [84].

Se evaluaron los efectos del entrenamiento excéntrico en FL en catorce estudios. De estos, doce encontraron aumentos significativos en la FL. En seis de esos estudios [15], [83], [85], [86], [89], [96], se aplicó el entrenamiento de fuerza NHE. En otros cinco [44], [74], [84], [91], [93], se llevó a cabo un entrenamiento de fuerza excéntrica isocinética. Finalmente, en un estudio [88],

se completó un entrenamiento con volante, incorporando un sesgo excéntrico adicional.

Se evaluaron los efectos del entrenamiento excéntrico en la MT en once estudios. Sin embargo, en uno de ellos no se encontraron cambios en la MT tras realizar un entrenamiento con volante, incluyendo un sesgo excéntrico adicional [88]. En cambio, en cinco estudios se registró un aumento significativo en la MT, tanto en comparación con los valores iniciales como tras la ejecución de entrenamientos excéntricos. Estos incluyeron ejercicios de caída de talón [87], entrenamiento excéntrico isocinético unilateral [84], [91], entrenamiento de resistencia excéntrica con carga igualada al trabajo [92] y entrenamiento excéntrico dinámico unilateral con resistencia externa constante [84].

En uno de los estudios, se evaluó la calidad del músculo mediante la intensidad del eco [91], donde se observó una mejora significativa en la calidad muscular, reflejada en una disminución de la intensidad del eco. Además, se evaluó la PSCA en dos estudios [44], [95], en los que se reportó un incremento en este parámetro.

Las modalidades de ejercicio, los músculos sometidos a prueba y sus efectos en la arquitectura muscular, se resumen en la Tabla 7.

Tabla 7. Detalle de las intervenciones

Study	Type of exercise	weeks	Procedure	Assessed parameters	Muscle	Results				
						FL	MT	PA	QM	PSCA CSA or
Alonso-Fernández et al.[87]	Eccentric training with heel drops exercise	8	2 sets x 10-12 repetitions (week 1) 3x/ week, 3 x 12-15 (week 2) 3x/ week, 3 sets x 15 repetitions (week 3 and 4) 4x/ week, 4 sets x 15 repetitions (+2kg load) (week 5) 4x/ week, 4 sets x 15 repetitions (week 6) 4x/ week, 4 sets x 15 repetitions (week 7) 5x/ week, 4 sets x 10-12 repetitions (week 8) 5x/ week, 4 sets x 10-12 repetitions (week 8) 5x/ week.	FL; MT; PA	GM; GL	↑**	↑**	↑**	N/A	N/A
Bourne et al.[86]	NHE	10	2-6 sets x 5 -10 repetitions, rest 3 min between sets, 2x /week (alternate legs)	FL	BFLH	↑***	N/A	N/A	N/A	N/A
Cadore et al.[91]	Isokinetic unilateral Eccentric training	6	2 sets x 8 repetitions, 2x/ weeks	MT; QM	VL	N/A	↑**	N/A	↑**	N/A
Coratella et al.[84]	Isokinetic unilateral eccentric training	8	5 sets x 8 repetitions; 2 x/week	FL; MT; PA	VL	↑**	↑**	↑	N/A	N/A
Guilhem et al.[92]	Dynamic external unilateral eccentric training	8	5 sets x 8 repetitions; 2 x/week			↑**	↑**	↑	N/A	N/A
	Work-matched eccentric resistance training	9	3 sets x 8 repetitions (week 1) 4 sets x 8 repetitions (week 2-3) 5 sets x 8 repetitions (week 4, 6-9)	FL; MT; PA	VL	↑**	↑**	↑**	N/A	N/A
Mendiguchia et al.[83]	NHE	6	3 sets of 12, 10 and 8 repetitions respectively, 1x/week	FL; MT; PA	BFLH	↑**	↑**	↓**	N/A	N/A
	Ribeiro-Alvares et al.[89]	4	3 sets 3 6-10 repetitions, 1-min rest between sets, 2x/week	FL; MT; PA	BFLH	↑***	↑	↓***	N/A	N/A
Sanz- López et al.[94]	Eccentric Training	6	4 sets x 7 repetitions with 2 minutes of rest	PA	GM	N/A	N/A	↓**	N/A	↑** (PSCA)
Sanz- López et al.[94]	Eccentric Training	6	5 sets x 7 repetitions with 2 minutes of rest	PA	VL	N/A	N/A	↓**	N/A	N/A
Seymore et al.[16]	NHE	6	2 sets x 5 repetitions (week 1) 1x /week, 2 sets x6 repetitions (week 2) 2x/ week, 3 sets x6-8 repetitions (week 3) 3x/ week, 3 sets x 8 -10 repetitions (week 4) 3x/ week, 3 sets x12 -10-8 repetitions (week 5- 6)	FL; PA; PSCA	BFLH	↑	N/A	↑	N/A	↑**
Timmins et al.[85]	NHE	6	4 sets x 6 reps (week 1) 2x/week, 4 sets x 6 reps (week 2) 3x/week, 5 sets x 6 reps (week 3) 3x/week, 5 sets x 8 reps (week 4) 3x/week, 6 sets x 6 reps (week 5) 3x/week, 6 sets x 8 reps (week 6) 3x/week.	FL; MT; PA	BFLH	↑**	↑	↓**	N/A	N/A
		6	4 sets x 6 reps (week 1) 2x/week, 4 sets x 6 reps (week 2) 3x/week, 5 sets x 6 reps (week 3) 3x/week, 5 sets x 8 reps (week 4) 3x/week, 6 sets x 6 reps (week 5) 3x/week, 6 sets x 8 reps (week 6) 3x/week.	FL; MT; PA	BFLH	↑#	↑	↓#	N/A	N/A
Marušič et al.[15]	NHE in a lengthened position	6	2 sets x 5 repetitions (week 1), 2 sets x 6 repetitions (week 2), 3 sets x 6 repetitions (week 3), 3 sets x 8 repetitions (week 4-6) / all 2x / week	FL; PA; PSCA	VL	↑**	N/A	↓	N/A	↑(PSCA) p210/p300
Marzilger et al.[44]	Four isokinetic eccentric training (45°/s, 120°/s, 210°/s and 300°/s)	11	5 sets x 3, 8, 14 and 20 repetitions per-training set respectively (45°/s, 120°/s, 210°/s and 300°/s), 3x/ week	PSCA	VL	N/A	N/A	N/A	N/A	↑(CSA)
Marzilger et al.[74]	Four isokinetic eccentric training (45°/s, 120°/s, 210°/s and 300°/s)	11	5 sets x 3, 8, 14 and 20 repetitions per-training set respectively (45°/s, 120°/s, 210°/s and 300°/s), 3x/ week	FL; MT; PA	BFLH	↑**	↑	↓**	N/A	N/A
Timmins et al.[96]	NHE	39	2 sessions per week after field training	FL; MT; PA	BFLH	↑**	↑	↓**	N/A	N/A
Abián et al.[90]	Single-leg decline squat exercise (3s)	6	3 sets x 8 repetitions, 3x/ week	FL; MT; PA	VL	↑	↑#	↑***	N/A	N/A
Presland et al.[88]	Single-leg decline squat exercise (6s)	6	3 sets x 8 repetitions, 3x/ week			↑	↑**	↑	N/A	N/A
	Flywheel training with an additional eccentric-bias	6	4 sets x 6 repetitions (week 1 and 2), 5 sets x 6 reps (week 3), 5 sets x 8 reps (week 4), 6 sets x 8 repetitions (week 5), 5 sets x 6 reps (week 6)	FL; MT; PA	BFLH	↑***	NC	↓	N/A	N/A
Franchi et al.[93]	Isokinetic eccentric training	10	4 sets x 8-10 repetitions, 3x/ (week	FL; PA	VL	↑***	N/A	↓#	N/A	N/A

FL= longitud del fascículo; MT= grosor muscular; PA=Angulo de penación; QM= calidad muscular BFLH= cabeza larga del músculo bíceps femoral; MG= gastrocnemio medial; LG= gastrocnemio lateral; VL= músculo vasto lateral; CSA= área de sección transversal; PSCA= área de sección transversal fisiológica; NC: sin cambios
= cambios significativos vs. grupo control
** = cambios significativos vs. base

Estudio 2

Todas las variables mostraron una distribución normal. Al comparar los tipos de mediciones solo hubo una diferencia “pequeña”, la cual no se considera significativa entre las obtenidas con la sonda posicionada en el eje longitudinal y transversal ($p = 0.084$) (Tabla 8), Sin embargo, al determinar su correlación con la masa magra del miembro inferior, las mediciones obtenidas con la sonda posicionada en el eje transversal presentan una asociación positiva “grande” ($r: 0.547$; $p = < 0.001$), en cambio, las mediciones realizadas con la sonda en el eje longitudinal solo presentaron una asociación positiva “moderada” con la masa magra ($r: 0.351$; $p = 0.007$) (Figura).

Tabla 8. Comparación entre las mediciones realizadas con la sonda en posición longitudinal y transversal

	<i>MT Longitudinal</i>	<i>MT Transversal</i>	<i>p value</i>	<i>Effect Size (Cohen's d)</i>
Mean MT (cm)	2.65 ± 0.539	2.56 ± 0.421	0.051	0.257 small

MT Longitudinal: Grosor muscular determinado con la sonda en posición longitudinal.
 MT Transversal: Grosor muscular determinado con la sonda en posición transversal.
 Los valores son mostrados como media ± SD.
 Significancia estadística $p < 0.05$.

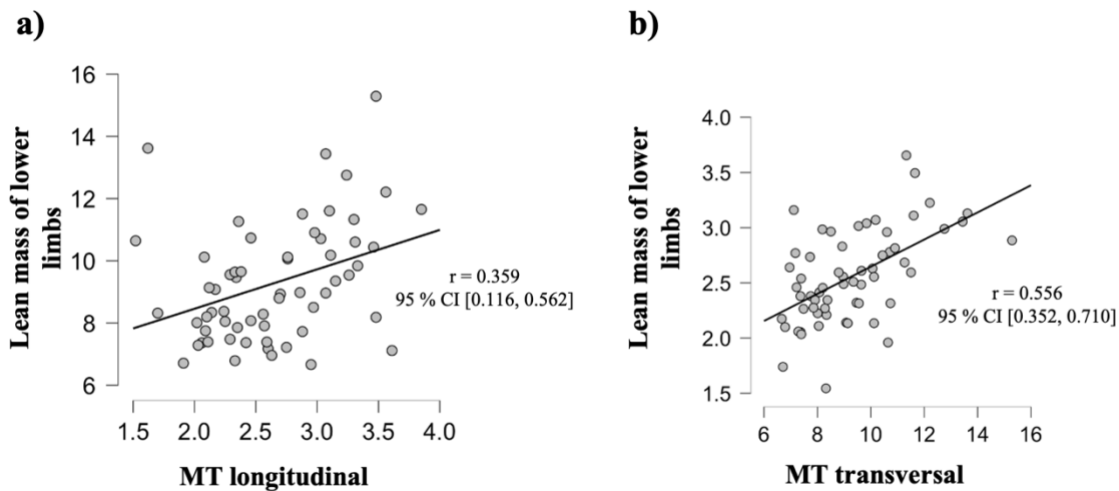


Figura 7. Asociación entre las mediciones de MT y la masa magra de los miembros inferiores.

a) Mediciones de MT realizadas con la sonda en posición longitudinal; **b)** Mediciones de MT realizadas con la sonda en posición transversal.

Estudio 3

Todas las variables mostraron una distribución normal. Al evaluar la correlación entre las variables de la arquitectura muscular y el MQI, únicamente MT mostró una asociación positiva de grado "moderado" con el MQI. En contraste, tanto FL como PA exhibieron asociaciones "muy bajas", las cuales no resultaron significativas con el MQI.

Al examinar la relación de los parámetros de la arquitectura muscular con la potencia media relativa de STS, MT presentó una asociación "moderada". Sin embargo, tanto la FL como la PA mostraron asociaciones "muy bajas" y "bajas", respectivamente, con la potencia media relativa al STS (ver Tabla 8). La distribución de las correlaciones para cada variable se representa en la Figura 7.

Tabla 8. Asociaciones entre los parámetros de la arquitectura muscular y el índice de calidad muscular

	Pearson's r	p	95 % CI	
			Lower	Upper
MT- MQI (w)	0.545 ***	< 0.001	0.333	0.704
MT- Relative STS Mean power (W·Kg⁻¹)	0.444 ***	< 0.001	0.730	0.897
FL-MQI (w)	-0.056	0.674	-0.310	0.205
FL- Relative STS Mean power (W·Kg⁻¹)	0.121	0.367	-0.142	0.368
PA-MQI (w)	0.083	0.536	-0.179	0.334
PA- Relative STS Mean power (W·Kg⁻¹)	0.225	0.090	-0.035	0.457

MQI = índice de calidad muscular; MT = grosor muscular; FL = longitud del fascículo; PA = ángulo de penetración; STS = sit to stand CI = intervalo de confianza.

* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

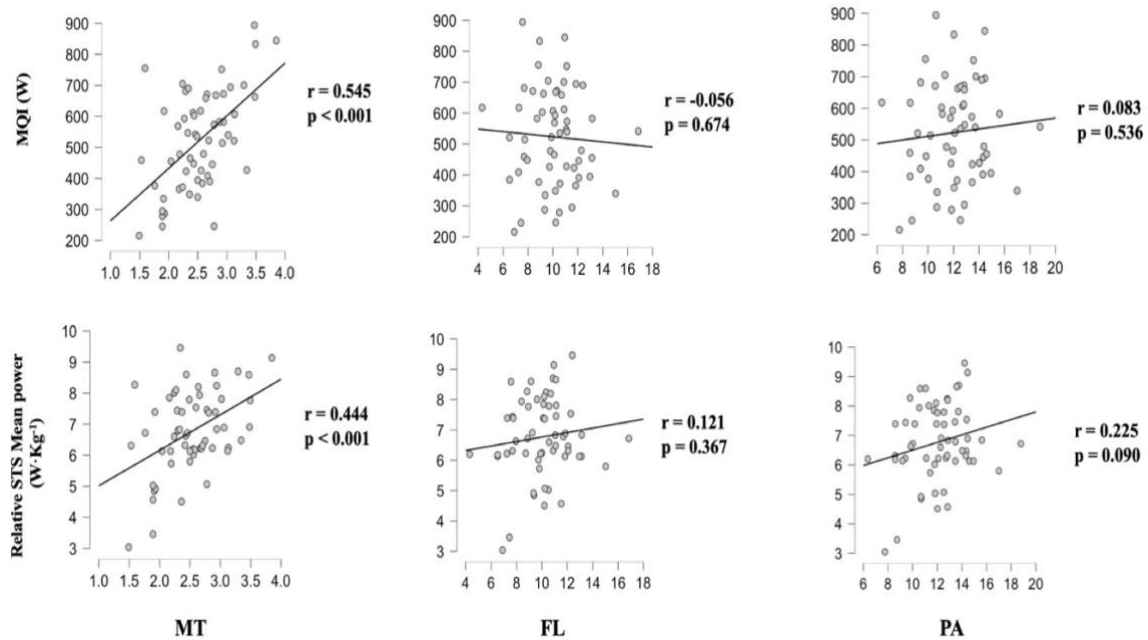


Figura 8. Distribución de las correlaciones entre los parámetros de la arquitectura muscular, el MQI y la potencia media relativa al STS. Donde MQI = índice de calidad muscular; STS = sit to stand; MT = grosor muscular; FL = longitud del fascículo; PA = ángulo de penetración; r = coeficiente de correlación de Pearson.

Estudio 4

Flujo de participantes y características de la muestra.

El diagrama de flujo de los participantes se muestra en la Figura 8. De los 64 participantes que se evaluaron para participar en el estudio, 60 cumplieron con los criterios de inclusión. Durante el seguimiento, uno de los participantes del grupo 5 STS decidió abandonar el estudio por problemas de salud personales. Al concluir el estudio, se dejó fuera del análisis un participante del grupo de control, debido a que no asistió a la evaluación posterior por restricciones de tiempo. Las características de los participantes se detallan en la Tabla 3.

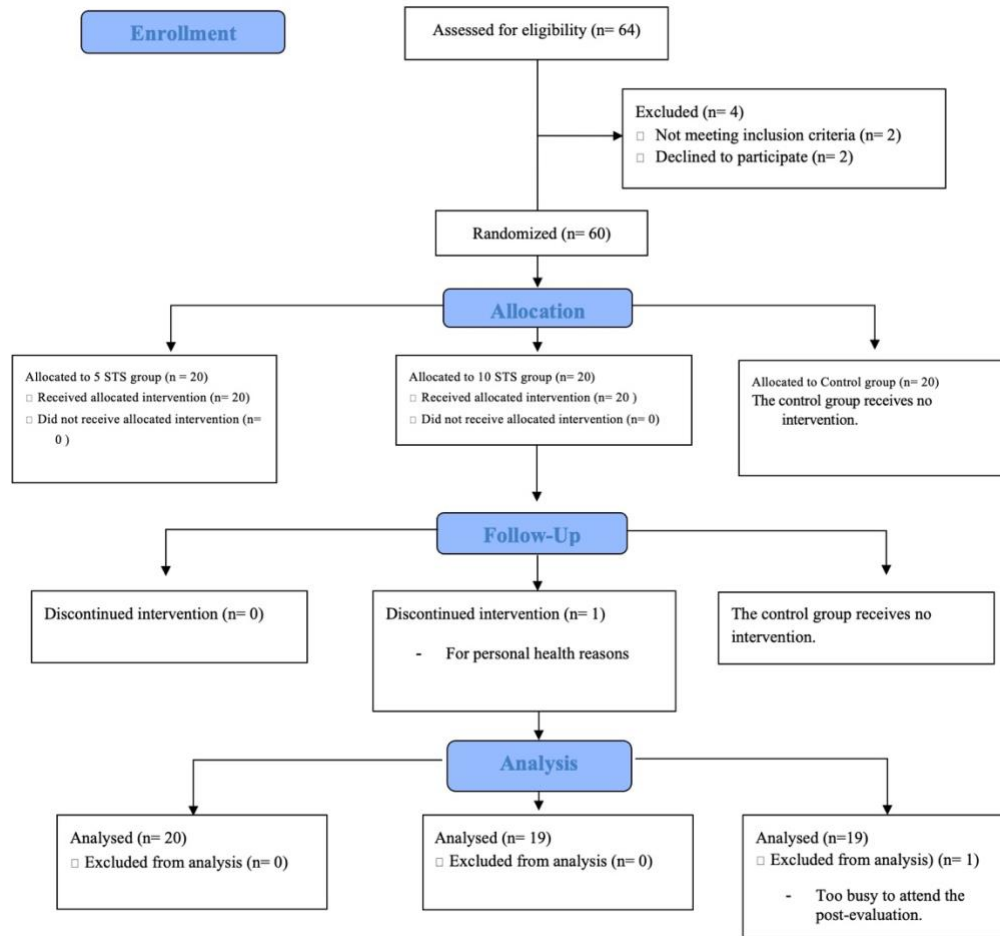


Figura 9. Diagrama de flujo CONSORT.

Table 9. Características de los participantes

Grupo	Sexo	Edad (años)	Altura (cm)	Masa corporal (kg)	IMC (kg/m ²)	Longitud miembro inferior (m)	Masa magra miembros inferiores (kg)
5STS	11 femenino / 9 masculino	42 ± 3.6	162 ± 9.0	80 ± 3.2	30 ± 5.2	0.8 ± 0.1	8.7 ± 1.8
10STS	15 femenino / 4 masculino	42 ± 9.7	162 ± 7.6	75 ± 14.3	28 ± 4.1	0.8 ± 0.1	9.3 ± 1.9
CG	9 femenino / 10 masculino	33 ± 12.0	167 ± 9.3	80 ± 16.3	28 ± 5	0.8 ± 0.04	9.9 ± 2.1

Los valores son presentados como media ± desviación estándar

Función muscular

El estudio presentó interacciones significativas tanto de tiempo como de grupo para el MQI y la potencia media relativa en el STS, tras un periodo de intervención de ocho semanas. De forma específica, se observaron mejoras considerables en estos parámetros tanto en los grupos de 5STS como de 10STS, sin que se detectasen diferencias destacables entre ambos. Al confrontar las mediciones antes y después de la intervención para cada grupo, todos ellos evidenciaron una mejora en el MQI. No obstante, las mejoras fueron más significativas en los grupos de 5STS y 10STS en comparación con el grupo de control que no tuvo cambios significativos. En relación con la potencia media relativa del STS, tanto los grupos de 5STS como de 10STS experimentaron un incremento significativo al concluir el periodo de estudio, mientras que el grupo de control no manifestó cambios relevantes (ver Tabla 10). Los cambios individuales para cada variable se representan gráficamente en la Figura 9.

Tabla 10. Cambios en la función muscular.

	Group	PRE mean ± SD	POST media ± SD	P	Percentage Change (%)	95 % CI for Mean Difference			Time x Group Interaction			
						Mean Difference	Lower	Upper	F	p	Effect size	
MQI (W) Fragala et al.	Control	579.5 ± 152.5	606.1 ± 163.3	1.0	+ 5							
	5STS	502.9 ± 170.5	706.5 ± 157.8 ***	< 0.001	+ 40							
	10STS	488.5 ± 148.2	710.1 ± 126.6 ***	< 0.001	+ 45	-150.568	-171.1	-130.0	36.452	< 0.001	0.201	small
Relative STS mean power (W·Kg⁻¹)	Control	7.4 ± 0.9	7.5 ± 1.2	1.0	+1							
	5STS	6.5 ± 1.6	8.4 ± 1.3 ***	< 0.001	+29							
	10STS	6.4 ± 1.2	8.8 ± 1.19 ***#	< 0.001	+38	-1.451	-1.641	-1.262	53.290	< 0.001	0.129	trivial

MQI = índice de calidad muscular; SD = desviación estándar
 * = cambios significativos p < 0.05 vs. Evaluación previa
 ** = cambios significativos p < 0.01 vs. Evaluación previa
 *** = cambios significativos p < 0.001 vs. Evaluación previa
 # = cambios significativos p < 0.05 vs. CG

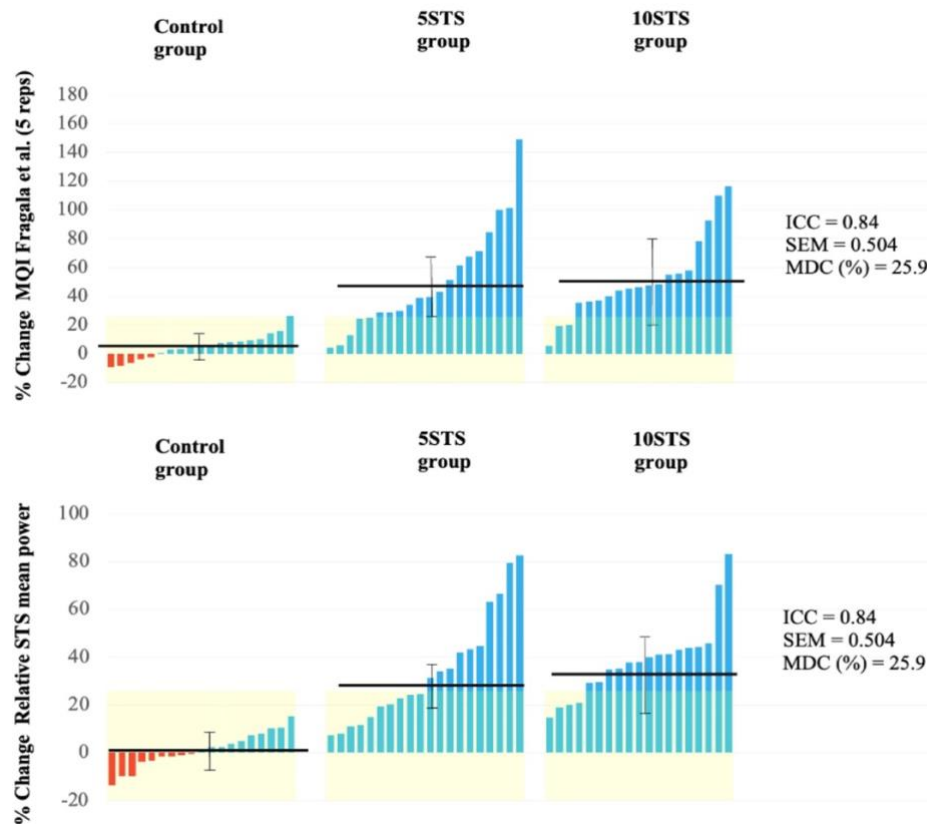


Figura 10. Cambios individuales de la función muscular para cada grupo. Las barras azules representan a los participantes que mostraron cambios positivos y las barras rojas cambios negativos. La línea horizontal representa la media y la sombra amarilla el porcentaje de cambio mínimo detectable. ICC = coeficiente de correlación intraclase; SEM = Error estándar de medición; MDC = cambio mínimo detectable.

Arquitectura Muscular

Al comienzo del estudio, no se identificaron diferencias significativas entre los grupos 5STS, 10STS y CG en ninguna de las variables relacionadas con la arquitectura muscular. Después de la intervención, se registraron interacciones significativas en el tiempo x grupo tanto para el MT como para PA, pero no para la FL.

Al confrontar las mediciones antes y después de la intervención en cada grupo, se detectaron incrementos significativos en el MT tanto en los grupos

5STS como 10STS. De igual manera, solo el grupo 5STS exhibió un incremento significativo en el PA. En contraposición, en el grupo 10STS, aunque se observó un aumento en el PA, este no resultó ser significativo. En todos los grupos, se registró una ligera disminución en la FL, siendo más marcada en los grupos de intervención, aunque estos cambios no fueron estadísticamente significativos. En lo que respecta al grupo CG, no se constataron cambios relevantes en ninguna de las variables de arquitectura muscular estudiadas (ver tabla 11). Las diferencias individuales en la arquitectura muscular se representan gráficamente en la Figura 10.

Tabla 11. Cambios en la arquitectura muscular del músculo vasto lateral

	Group	PRE Mean ± SD	POST Mean ± SD	P	% Change	95 % CI for Mean Difference			Time x Group Interaction			
						Mean Difference	Low er	Upper	F	p	Effect size	
MT (cm)	Control	2.6 ± 0.54	2.6 ± 0.51	0.307	- 5 %		-					
	5STS	2.54 ± 0.47	2.78 ± 0.5 ***	< 0.001	+ 9 %	-0.110	0.16	-0.055	16.978	< 0.001	0.21	small
	10STS	2.49 (0.56)	2.70 ± 0.53 **	0.001	+ 8 %		4					
FL (cm)	Control	12.35 ± 3.21	12.1 ± 2.39	-	- 2 %		-					
	5STS	12.83 ± 3.21	11.72 ± 2.29	-	- 9 %	0.669	0.14	1.479	0.357	0.701	0.003	trivial
	10STS	12.25 ± 4.5	11.63 ± 2.11	-	- 5 %		0					
PA (°)	Control	12.08 ± 2.46	11.87 ± 2.05	1.0	- 2 %		-					
	5STS	12.09 ± 2.45	13.9 ± 2.23 **	0.008	+ 15 %	-1.025	1.60	-0.448	4.646	0.014	0.025	small
	10STS	12.09 ± 2.08	13.56 ± 2.13	0.073	+ 13 %		3					

MT = grosor muscular; FL = longitud del fascículo; PA = ángulo de penación; SD = desviación estándar.

* = cambios significativos p < 0.05 vs. Evaluación previa

** = cambios significativos p < 0.01 vs. Evaluación previa

*** = cambios significativos p < 0.001 vs. Evaluación previa

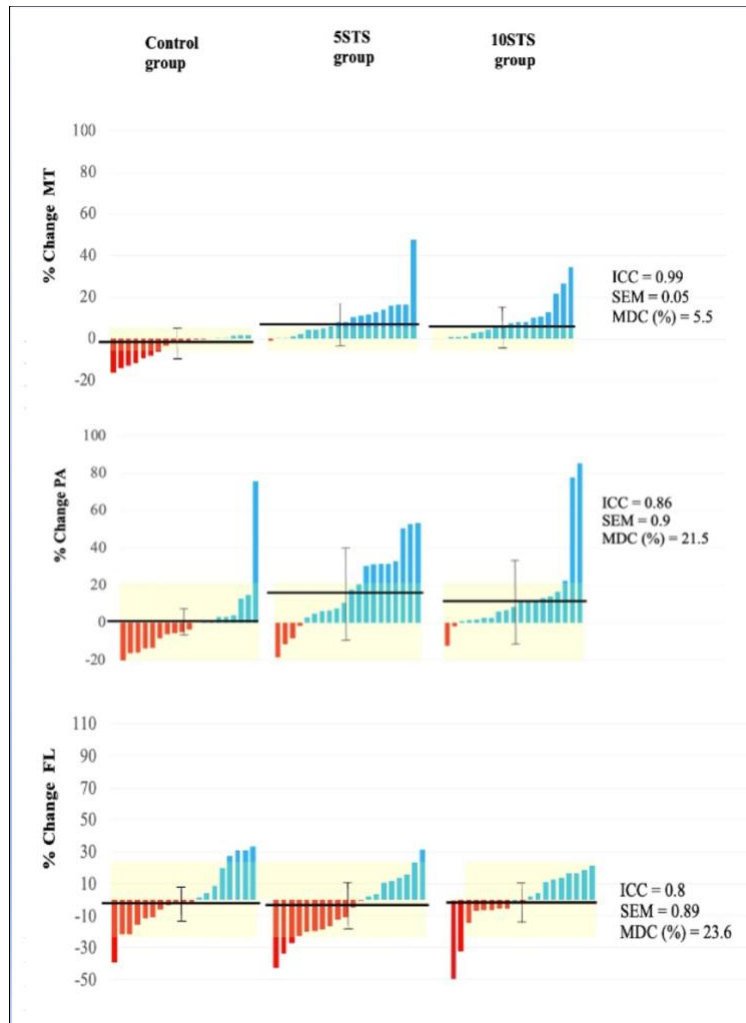


Figura 11. Cambios individuales de la arquitectura muscular en cada grupo. Las barras azules representan a los participantes que mostraron cambios positivos y las barras rojas cambios negativos. La línea horizontal representa la media, y la sombra amarilla el porcentaje de cambio mínimo detectable. ICC = coeficiente de correlación intraclase; SEM = Error estándar de medición; MDC = cambio mínimo detectable.

Resultados estudio 5

Todas las variables mostraron una distribución normal. Los resultados de los parámetros de la arquitectura muscular y las variables derivadas de la relación LV se detallan en la tabla 12.

Tabla 12. Resultados mediciones arquitectura muscular y variables derivadas del perfil LV

Variable	Media ± DS
MT (cm)	2.7 ± 0.4
FL (cm)	7.9 ± 1.1
PA (°)	19.9 ± 4.9
L₀ (kg)	211.4 ± 85.8
V₀ (m/s)	1.1 ± 0.3
LVs	-194.4 ± 124.3
A_{line} (kg x m/s)	119.2 ± 54.0

MT = grosor muscular; FL = longitud del fascículo; PA = ángulo de penación; L₀ = carga teórica máxima a velocidad máxima; V₀ = velocidad máxima; LVs = pendiente relación LV; A_{line} = área bajo la línea de relación LV.

Los valores se muestran como media ± desviación estándar (DS)

Nuestros resultados revelaron varias correlaciones significativas entre los parámetros de la arquitectura muscular y las variables derivadas del perfil de relación carga-velocidad.

Encontramos una correlación positiva “moderada” entre el grosor del músculo MT y la L₀. En contraste, MT y LVs mostraron una correlación negativa “moderada”. PA exhibió una correlación positiva “moderada” con L₀ ($r = 0.560$, $p = 0.002$) y correlaciones negativas “moderadas” y “altas” con V₀ y LVs, respectivamente. Del mismo modo, FL mostró una correlación positiva “moderada” con V₀ y LVs. (ver Tabla 13). La distribución de las correlaciones para cada variable se representa en la Figura 12.

Tabla 13. Asociaciones entre los parámetros de la arquitectura muscular y el las variables derivadas del perfil LV

95 % CI

	Pearson´s r	p	Lower	Upper
MT- L₀	0.428*	0.023	0.065	0.691
MT- V₀	-0.016	0.935	-0.387	0.359
MT- LVs	-0.430*	0.022	-0.692	-0.068
MT- A_{line}	0.283	0.145	-0.101	0.593
FL- L₀	-0.066	0.737	-0.429	0.315
FL- V₀	0.573**	0.001	0.255	0.780
FL- LVs	0.428*	0.023	0.065	0.691
FL- A_{line}	0.274	0.158	-0.110	0.587
PA- L₀	0.560**	0.002	0.237	0.772
PA- V₀	-0.401*	0.034	-0.673	-0.033
PA- LVs	-0.754***	< 0.001	-0.880	-0.530
PA- A_{line}	0.161	0.413	-0.225	0.504

MT = grosor muscular; FL = longitud del fascículo; PA = ángulo de penetración; ; LV = relación carga velocidad; CI = intervalo de confianza; L₀ = carga teórica máxima; V₀ = Velocidad cero; LVs = pendiente de la relación LV; A_{line} = área bajo la línea de la relación LV.

* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

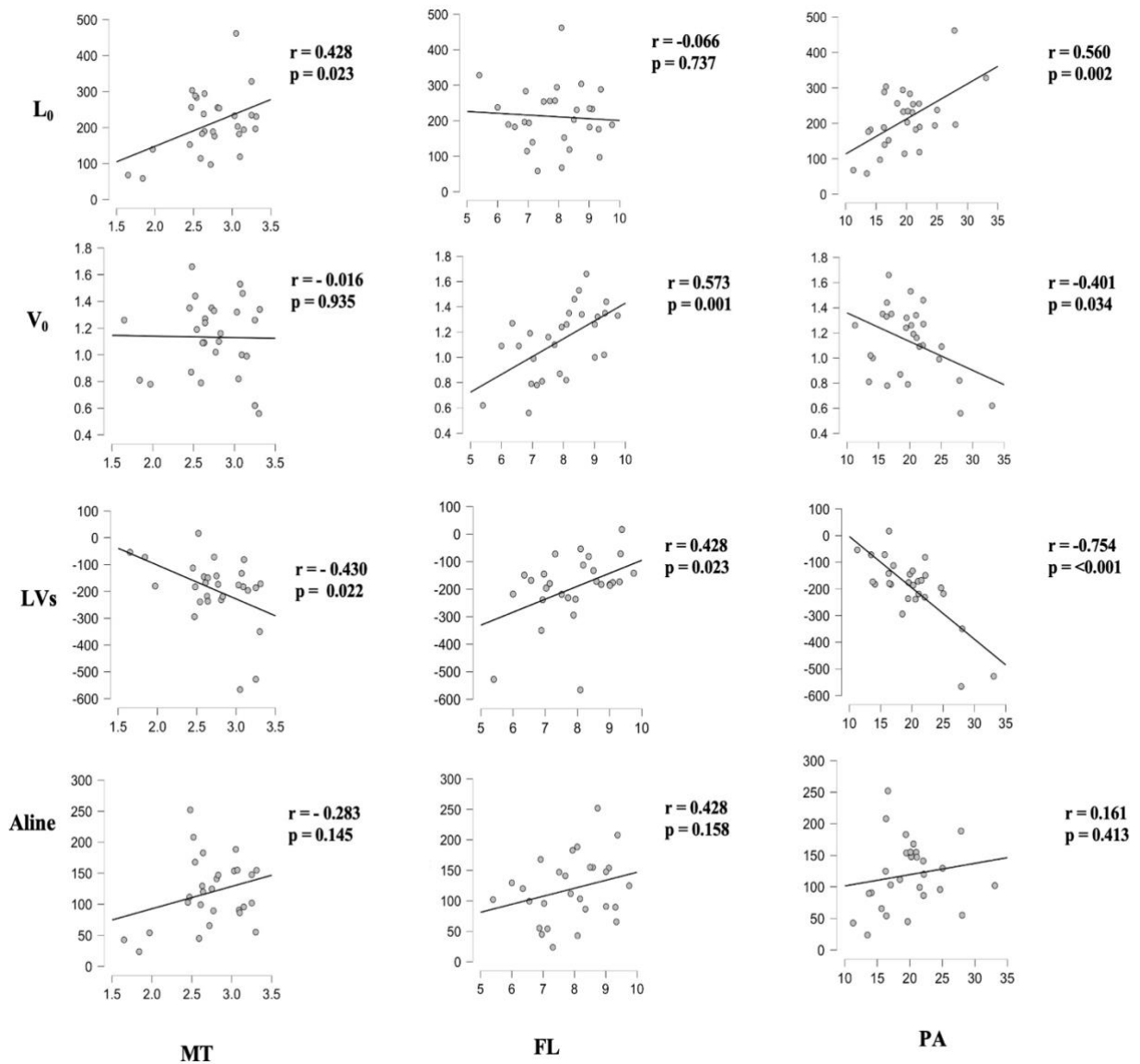


Figura 12. Distribución de las correlaciones entre los parámetros de la arquitectura muscular y las variable derivadas del perfil LV. Donde r representa el coeficiente de correlación de Pearson; MT = grosor muscular; FL = longitud del fascículo; PA = ángulo de penación; ; LV = relación carga velocidad; CI = intervalo de confianza; L_0 = carga teórica máxima; V_0 = Velocidad cero; LVs = pendiente de la relación carga velocidad y Aline = área bajo la línea de la relación LV.

DISCUSIÓN

A continuación se discuten los principales resultados para cada estudio de la presente tesis doctoral:

Estudio 1

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos del entrenamiento excéntrico en la arquitectura muscular. Nuestros hallazgos subrayan que los parámetros más frecuentemente analizados en la literatura consultada fueron PA, FL y MT. Estos parámetros fueron estudiados en particular en los músculos de los miembros inferiores, tales como BF_{lh}, VL, GM y GL. Hemos observado que la realización de entrenamiento excéntrico durante un periodo mínimo de cuatro semanas conduce a adaptaciones significativas en estos parámetros. Este cambio se caracteriza por un aumento de MT en conjunción con FL y una disminución de PA, factores que son fundamentales para la función muscular. Estos descubrimientos ofrecen una evidencia convincente acerca de la influencia del entrenamiento excéntrico en la arquitectura muscular. Este conocimiento puede ser extremadamente útil en la prevención de lesiones y en la promoción de la recuperación muscular.

El entrenamiento excéntrico más empleado en esta revisión fue el NHE, que se enfocó en los músculos isquiotibiales. Se le ha dado amplio uso en la literatura científica [97], probablemente debido a su facilidad de ejecución y reproducción, ya que sólo requiere de un compañero y no de equipamiento dinamométrico [98]. Este entrenamiento ha demostrado ser eficaz en la reducción del riesgo de lesiones [99], el incremento de la fuerza excéntrica [100] y la potencial modificación de la arquitectura muscular al aumentar la longitud de los fascículos [101]. Esta última observación fue constante en todos los

estudios que utilizaron NHE y que fueron incluidos en esta revisión, evidenciando un aumento significativo en FL después de seguir sus respectivos protocolos. No obstante, en el estudio de Seymore et al.[16] no reportaron cambios significativos, lo cual podría estar relacionado con las posiciones articulares asumidas durante el entrenamiento. Al revisar los efectos del ejercicio en PA, todos los estudios, excepto el de Seymore et al.[16] indicaron una disminución de este parámetro y un incremento en PA sin cambios significativos. En cuanto a MT, este ejercicio provocó un incremento variable en todos los estudios examinados.

En relación a las otras modalidades de entrenamiento excéntrico incluidas en esta revisión, la segunda modalidad más empleada fue la utilización de ejercicios excéntricos isocinéticos, utilizando una herramienta tecnológica para controlar la velocidad angular. Ya se ha podido determinar los efectos del ejercicio excéntrico isocinético en la masa muscular y la fuerza de los cuádriceps en personas antes o después de la reconstrucción del LCA o una meniscectomía [102], [103]. También se ha observado su influencia en las adaptaciones neuronales [104]. Los resultados de esta revisión apoyan su empleo como un método potencial para modificar los parámetros de la arquitectura muscular, generando un incremento en FL y MT, y una disminución en PA [44], [84], [90]-[92].

Por otro lado, al analizar el efecto del ejercicio excéntrico sobre la arquitectura de distintos músculos, encontramos en esta revisión que únicamente se han estudiado los parámetros de la arquitectura muscular en los músculos de las extremidades inferiores. En particular, se consideraron los

músculos BFlh, VL, GM y GL. Habitualmente, la evaluación de los parámetros de la arquitectura muscular se realiza con una máquina de ultrasonido en modo B, la cual ha sido validada previamente para medir los músculos de los miembros inferiores [105], [106]. Esto podría justificar la preferencia por estos músculos para realizar las evaluaciones. No obstante, sería aconsejable expandir las investigaciones a los efectos del ejercicio excéntrico en los músculos de los miembros superiores.

Es bien sabido que los músculos con una longitud de fascículo (FL) más extensa tienen una ventaja en movimientos de alta velocidad [56]. Por otro lado, los músculos con mayor PA son capaces de generar una fuerza más intensa [18]. En este contexto y tomando en cuenta los resultados de esta revisión, se puede inferir que el entrenamiento excéntrico podría potenciar la función muscular en circunstancias que demanden velocidad, sin embargo, puede no ser tan favorable en situaciones que requieran de fuerza. Por ende, es crucial precisar a qué tipo de fuerza nos estamos refiriendo. Así, se propone incluir la correlación con la fuerza en futuras investigaciones que busquen abordar esta cuestión. Cabe subrayar que esta revisión se enfocó exclusivamente en los efectos del entrenamiento excéntrico en los parámetros arquitectónicos del músculo, sin considerar su vínculo con la fuerza o la velocidad.

La edad promedio de los individuos considerados en los estudios de esta revisión fluctúa entre 18 y 29 años. Este rango etario limita nuestra capacidad para obtener una visión más completa de la población en general. Existe una notable carencia de investigaciones que evalúen los efectos del entrenamiento excéntrico en la población de adultos mayores, pese a que es indiscutible que la

función del músculo esquelético experimenta cambios con el avance de la edad [36].

Estudio 2

Los objetivos del estudio fueron I) determinar si existen diferencias en la medición de MT en el VL utilizando la sonda en posición longitudinal o transversal y II) determinar su asociación con la masa magra de los miembros inferiores. Los resultados indican que no existen diferencias significativas entre las mediciones de MT con la sonda en posición longitudinal y transversal, lo que sugiere que ambas posiciones pueden utilizarse indistintamente en el protocolo de medición. Sin embargo, al asociar estas mediciones con la masa magra de los miembros inferiores, se encontró que las mediciones transversales poseen una asociación fuerte, mientras que las mediciones longitudinales presentan una asociación moderada, esto sugiere que las mediciones con la sonda posicionada transversal presentan un mayor valor predictivo de la masa magra de los miembros inferiores. Por lo tanto, podría ser de utilidad como un indicador de masa magra de los miembros inferiores en caso de no contar con una máquina de bioimpedancia bioeléctrica o resonancia nuclear magnética.

Otros estudios han valorado la fiabilidad de la medición de MT a través del ultrasonido, y su asociación con parámetros funcionales en distintas poblaciones [41], [107], [108], mostrando asociaciones fuertes o moderadas con los niveles de actividad física [27], fuerza y rigidez muscular [39]. Del mismo modo, hace algunos años, Ticinesi et al.[109], el año 2018, propusieron una evaluación de la sarcopenia utilizando MT evaluado con ultrasonido en el VL. Similar situación,

fue considerada por Abe et al. en el 2015 [110] quienes propusieron modelos predictivos para determinar la masa magra apendicular utilizando mediciones de en MT con ultrasonido.

La asociación entre MT y el área sección transversal (CSA) en los músculos del miembro inferior se ha reportado en estudios anteriores [14], los cuales han establecido relaciones fuertes entre MT de distintos músculos del miembro inferior y su CSA, como el tibial anterior ($r: 0.9$) [111], aductores de cadera ($r: 0.95$) [112] y músculos del cuádriceps ($r: 0.82$) [113]. Los hallazgos en el presente estudio se suman los reportados por estos autores, donde se encontró una asociación moderada y fuerte entre el MT del VL y la masa magra de los miembros inferiores.

Hasta el momento no se habían considerado las diferencias entre una medición de MT longitudinal y transversal para el VL con la rodilla en flexión de 90° . Si bien, los resultados indican que no hubo diferencias significativas en este protocolo de medición, es posible que existan otros factores que afecten, como la posición de la rodilla al momento de la evaluación, la cual podría ser determinante debido a que se ha demostrado los cambios en la arquitectura muscular frente a distintos grados articulares [114]. O la anatomía individual de cada sujeto y el punto específico de medición en el músculo, los cuales no presentan un tamaño uniforme [113]. En este contexto, es posible que una muestra más grande, o la medición en otro punto del músculo o con otra posición de la rodilla, pueda revelar distintos resultados entre estas mediciones.

Es importante destacar que aunque el estudio muestra una asociación entre la masa magra y el grosor muscular medido por ecografía, no se puede

establecer una relación causal. Además, la correlación encontrada no significa necesariamente que un mayor grosor muscular siempre se traduzca en una mayor masa magra o viceversa. Otros factores, como la hidratación [115] y la adiposidad [33], también pueden influir en el grosor muscular medido por ultrasonido.

Estudio 3

El objetivo del presente estudio fue determinar la asociación de los parámetros de la arquitectura muscular con el MQI y la potencia media relativa de STS. Los principales resultados del estudio revelan que solo MT presentó una correlación tanto con MQI y la potencia media relativa de STS, mientras que FL y PA presentaron correlaciones muy bajas y bajas respectivamente, las cuales no son significativas. Estos hallazgos sugieren que el MT puede ser un indicador relevante de la calidad muscular y la capacidad de generar potencia en la prueba de STS. Sin embargo, FL y PA parecen tener una relación más débil con estos parámetros en el contexto de este estudio. Estos resultados proporcionan una mayor comprensión de las asociaciones entre los parámetros de la arquitectura muscular, el MQI y la potencia media relativa de STS, y pueden tener implicaciones importantes para el diseño de programas de entrenamiento y la evaluación de la función muscular en poblaciones específicas.

El MQI es una herramienta útil, de bajo costo, y fácil de aplicar para evaluar la calidad muscular en la población de adultos mayores [116], y se ha demostrado su comportamiento como una herramienta clínica para evaluar la potencia muscular de los miembros inferiores en esta población [4]. Además, el

MQI ha demostrado su eficacia en la identificación temprana de la sarcopenia, una condición caracterizada por la pérdida progresiva de la masa y la fuerza muscular que ocurre con el envejecimiento [46]. Este índice puede ser particularmente beneficioso para aquellos pacientes en riesgo de caídas o con movilidad reducida debido a su habilidad para proporcionar una medida objetiva y reproducible de la potencia muscular [47].

Un estudio realizado en 2014 evaluó el MQI entre otros factores funcionales en una población de adultos mayores (70 ± 6.2 años)[79], encontrándose que los valores del MQI eran inferiores (203.43 ± 64.31) a los reportados en el presente estudio (523.3 ± 159.9). Sin embargo, esta puede ser explicada por la diferencia en las edades medias de las poblaciones estudiadas; la población en nuestro estudio presenta una edad media más baja (39.1 ± 12.5), lo cual podría influir en los valores más altos de MQI encontrados. En línea con estos hallazgos, Jerez Mayorga et al. [4] en 2020, presentaron resultados del MQI calculados utilizando la fórmula propuesta por Takai et al. [117], que utiliza el tiempo de ejecución del test STS (sit-to-stand) de 10 repeticiones. Aunque las diferencias no resultaron ser estadísticamente significativas, este estudio reportó un valor de MQI inferior en las mujeres de edad avanzada en comparación con las mujeres más jóvenes. Específicamente, se observaron diferencias en los valores de MQI entre las mujeres jóvenes (21.2 ± 2.2 años) y las mujeres mayores (66.2 ± 5.6 años). Estos hallazgos destacan la importancia de considerar la edad al evaluar la calidad muscular mediante el MQI. Asimismo, es crucial reconocer el valor de la potencia media relativa al test STS, la cual se ha demostrado como un indicador fiable de la función muscular de los miembros

inferiores. No sólo sirve como una métrica de la fuerza muscular, sino que también tiene una correlación significativa con la calidad de vida y la funcionalidad en los adultos mayores. [51], [78].

La asociación entre los parámetros de la arquitectura muscular y la función muscular ya ha sido evaluada previamente. Por ejemplo, Guadagnin et al. [118] el año 2019 encontraron una correlación positiva entre MT del VL con la velocidad normal y máxima de la marcha en suelo ($r = -0.60$; $r = -0.56$, respectivamente), estos hallazgos son consistentes con los resultados presentados en este estudio donde también reportó una correlación de MT con variables funcionales como el MQI, y la potencia media relativa de STS ($r = 0.545$; $r = 0.444$). Los mismos autores no encontraron una correlación significativa FL y PA del VL y la velocidad de la marcha normal en suelo situación que se asemeja a los reportado en este estudio. Sin embargo, encontraron una correlación negativa entre PA y velocidad de la marcha con obstáculos ($r = -0.56$). Sin embargo, cuando se relaciona con la fuerza, FL si parece presentar asociaciones "muy altas" con la fuerza isométrica máxima de la extensión de rodilla ($r = 0.63$), inclusive más que MT y PA [25]. Esto subraya la complejidad de la relación entre la arquitectura muscular y la función muscular, cual sugiere varía dependiendo el músculo o el movimiento analizado.

Estudio 4

El objetivo de esta investigación fue comparar y determinar los efectos de dos programas de entrenamiento a través del STS de cinco y diez repeticiones sobre la función y la arquitectura muscular en adultos sedentarios. Los

descubrimientos más relevantes del estudio indican que ambas modalidades de entrenamiento, con cinco y diez repeticiones de STS a lo largo de ocho semanas, conllevaron a aumentos significativos en MQI y en la potencia media relativa de STS. Además, se observaron adaptaciones en los parámetros de la arquitectura muscular, incluyendo un aumento en MT y PA. Sin embargo, el aumento en PA fue significativo solo en el grupo de 5STS. Estos hallazgos sugieren que el STS, como un ejercicio de bajo costo, puede mejorar la función muscular de los individuos sedentarios y promover adaptaciones en la arquitectura muscular. Es importante destacar que este programa de entrenamiento también se caracteriza por ser eficaz en el tiempo. Estos hallazgos respaldan la implementación de programas de STS como una estrategia viable y eficiente para mejorar la función y la arquitectura muscular en adultos sedentarios.

Existen múltiples técnicas para la evaluación de la calidad muscular [11], [119]. Sin embargo, muchos de estos métodos se normalizan en función de la masa muscular [120], y a pesar que esta variable sigue siendo un elemento crucial en estas evaluaciones de la calidad muscular, los instrumentos necesarios para llevar a cabo las mediciones suelen ser de difícil acceso o implican costos elevados [121]. En este escenario, el MQI obtenido a través del STS test, se presenta como una herramienta útil, accesible y rápida para medir la calidad muscular en pacientes en un entorno clínico [4], [116]. Un incremento significativo en el MQI puede reflejar una mejora en la calidad muscular y en la condición funcional de los miembros inferiores en los participantes [122], sin necesidad de considerar otros parámetros como el componente neural [11]. De igual forma, los valores proporcionados por la fórmula de Alcazar et al. para la

velocidad y la potencia muscular son indicadores valiosos para evaluar la función muscular de las miembros inferiores [78], facilitando así el seguimiento de nuestros pacientes.

Se observó un aumento significativo en PA (5STS) y una ligera disminución no significativo de FL en los grupos de intervención. Un estudio previo ha encontrado un incremento en PA como respuesta al entrenamiento de contracción concéntrica [93], y también una reducción en la FL tras intervenciones de ejercicio concéntrico [85], lo cual difiere de lo observado en intervenciones con entrenamiento excéntrico [87]. Sin embargo, es importante destacar que estos estudios utilizaron dosis de ejercicio más exigentes y volúmenes mayores [123]. En el presente estudio, el aumento en la PA y la leve disminución en la FL podrían explicarse por el tipo de ejercicio empleado, ya que consideramos que el STS se comporta como un ejercicio de carga concéntrica para VL debido a la necesidad de vencer la gravedad durante la extensión de la rodilla, lo cual involucra principalmente un componente concéntrico [93], [123], [124]. PA se considera un factor fundamental en la producción de fuerza [12], [56], posiblemente permitiendo un mayor reclutamiento de fibras contráctiles en el área de la aponeurosis [18]. Aunque se ha cuestionado recientemente la asociación entre la PA y la producción de fuerza [125], su comportamiento en respuesta a diferentes intervenciones aún no está claro, posiblemente debido a la necesidad de considerar otras variables en esta discusión, como el papel del tejido no contráctil y estudios dinámicos que examinen la rotación del fascículo durante la contracción [125], [126].

Otro parámetro evaluado en esta intervención fue la adaptación del VL en MT, el cual aumentó significativamente en ambos grupos de intervención. Se ha descrito que el MT es un predictor valioso de la fuerza muscular durante la extensión de la rodilla [14], aunque se necesitan más estudios para utilizarlo como predictor de la función muscular [127]. Del mismo modo, se ha propuesto como una herramienta prometedora para predecir la sarcopenia en adultos mayores [109], [127]. Por lo tanto, dado que hay una disponibilidad limitada de instrumentos para evaluar la masa muscular mediante bioimpedancia y absorciometría de rayos X de doble energía (DXA), o el área de sección transversal fisiológica mediante resonancia magnética [77], el MT medido mediante ultrasonido puede ser un indicador útil en la evaluación de los pacientes.

En los últimos años, se han llevado a cabo diversas intervenciones para examinar los efectos en los resultados de salud mediante rutinas de bajo consumo energético. Los datos sugieren que el entrenamiento de baja volumen y alta carga puede mejorar la fuerza [128]. No obstante, parece ser que los ejercicios con cargas ligeras a moderadas, ejecutados a la máxima velocidad posible, son más efectivos para mejorar la capacidad funcional en adultos mayores [129], [130]. Un metaanálisis reciente indica que, si bien múltiples series por ejercicio pueden incrementar ligeramente la fuerza en los miembros inferiores en adultos de mediana edad y mayores, una sola serie por ejercicio es suficiente para mejorar la fuerza, el tamaño muscular y la capacidad funcional de los miembros superiores, en estos grupos etarios [131]. Por último, los déficits observados en la tasa de desarrollo de fuerza (RFD) en adultos mayores

subrayan la importancia de la potencia muscular en la prevención de caídas. Los adultos mayores tienden a mostrar mayores deficiencias en la RFD en comparación con la fuerza máxima, lo que sugiere que el entrenamiento de potencia podría ser especialmente beneficioso para este segmento demográfico [54].

Se han realizado pruebas con rutinas de ejercicio que interrumpen el tiempo sedentario y mejoran los niveles de insulina y glucosa [132], [133]. Otros estudios han utilizado el ejercicio de STS como intervención para evaluar sus efectos en variables funcionales. Hyun et al. [63] evaluaron su efecto después de seis semanas de intervención en pacientes con accidente cerebrovascular, quienes aumentaron significativamente su fuerza, equilibrio y velocidad. De manera similar, Matsufuji et al.[134] aplicaron una intervención de STS en pacientes ancianos sometidos a hemodiálisis, quienes mejoraron significativamente su independencia funcional. Sin embargo, estos se llevaron a cabo en una población diferente a la utilizada en este estudio y con modalidades de STS diferentes que no se aplicaron con el objetivo de mejorar la potencia muscular. Aunque existen otras modalidades de STS [135], [136], nosotros utilizamos aquellas que tienen en cuenta el tiempo necesario para completar las cinco repeticiones, en lugar del número de repeticiones realizadas como medida del resultado. Al tratar de superar el tiempo, creemos que esta modalidad fomenta movimientos más rápidos que contribuyen a mejorar la potencia muscular de los miembros inferiores.

Estudio 5

El objetivo de este estudio fue establecer la relación entre los parámetros de la arquitectura muscular y las variables dependientes del perfil LV. Los principales hallazgos de nuestra investigación demuestran que tanto MT como PA exhiben una correlación positiva y significativa con L_0 , así como una correlación inversa con LVs. Estos hallazgos sugieren que tanto MT como PA están íntimamente relacionados con la capacidad de levantar cargas mayores y podrían influir en la manifestación de LVs, volviéndola más inclinada a medida que estas variables aumentan. Esta información indica que MT y PA podrían ser utilizados como indicadores eficaces de la capacidad para levantar cargas. De especial interés es PA, que mostró una relación moderada y muy alta con L_0 y LVs respectivamente, resaltando su potencial importancia en este contexto. En cuanto FL, se observó una correlación positiva significativa con la V_0 y LVs, pero no con L_0 . Lo cual sugiere que a medida que FL aumenta, la velocidad de movimiento disminuye más lentamente mientras aumenta la carga. Esto indica que los músculos con fascículos más largos son capaces de mantener velocidades de movimiento más altas a medida que la carga aumenta. Estos resultados proporcionan una mayor comprensión de las asociaciones entre los parámetros de la arquitectura muscular y las variables dependientes del perfil LV, y pueden tener implicaciones importantes para el diseño de programas de entrenamiento y la evaluación de la función muscular en poblaciones específicas. No obstante, es importante señalar que ningún parámetro de la arquitectura muscular mostró una correlación significativa con A_{line} , lo que sugiere que, aunque estos parámetros tienen relaciones individuales con la capacidad de

levantar cargas y la velocidad, no muestran una relación con la combinación de ambos, es decir, la potencia.

Se ha demostrado que el perfil LV es una herramienta válida y fiable para determinar el rendimiento diferentes ejercicios [137][69], [138], lo cual permite evaluar el rendimiento funcional individual de las personas[139] o medir el efecto de un entrenamiento en específico comparando las velocidades máximas obtenidas frente a una misma carga [137]. Nuestro estudio utilizó el STS para determinar la relación LV a través de un DEMF. Piche et al. [139] el año 2021, utilizaron el STS para calcular perfiles de fuerza-velocidad en los miembros inferiores de adultos mayores y compararon su validez con un dispositivo dinamométrico isocinético, considerado el "estándar de oro" para medir la función muscular en el ámbito clínico [82], Los resultados mostraron que el STS es moderadamente confiable para determinar los parámetros de fuerza y potencia, aunque se requieren mejoras adicionales para medir los parámetros de velocidad. En este contexto, la incorporación de una tecnología como el DEMF, cuya fiabilidad ya ha sido determinada en otros escenarios [4], [72], podría mejorar la validez y fiabilidad para determinar los perfiles de fuerza-velocidad y LV. Sin embargo, es importante destacar que estos no fueron los objetivos específicos de nuestro estudio, por lo tanto, se necesitan investigaciones adicionales para determinar la fiabilidad del DEMF en la evaluación de perfiles utilizando el STS test.

La asociación entre los parámetros de la arquitectura y la función muscular (relación de fuerza velocidad) ya ha sido evaluada previamente. Por ejemplo, Morales-Artacho et al. en 2018 [140] investigaron la asociación entre el perfil fuerza-velocidad y los parámetros de la arquitectura muscular, y encontraron una asociación significativa de MT y PA con la fuerza teórica máxima. Estos resultados se asemejan los reportados en este estudio, donde encontramos una relación positiva de PA y MT con L_0 . Si bien, la fuerza teórica máxima (intercepto del eje de fuerza) es distinto a LV [137], estas coincidencias refuerzan la idea de que MT y PA son indicadores relevantes de la capacidad de generar fuerza en los músculos [56], [126], [141]. Sin embargo, una discrepancia importante reside en las correlaciones con V_0 . Mientras que nuestro estudio encontró una correlación positiva moderada entre FL y V_0 , el estudio mencionado no encontró una relación significativa entre V_0 y la pendiente de fuerza velocidad. Esto puede deberse a diferencias en los protocolos de evaluación y la población de estudio.

CONCLUSIONES

A partir de los estudios realizado, y de acuerdo a los resultados de la revisión sistemática realizada se deduce que el entrenamiento excéntrico desempeña un papel crucial en la modificación de la arquitectura muscular, especialmente en los miembros inferiores. Del mismo modo, el grosor muscular (MT) y el ángulo de penación (PA) emergen como indicadores particularmente significativos en varios contextos, incluyendo la calidad muscular, la potencia en la prueba de Sentarse y Levantarse (STS) y la capacidad de levantamiento de cargas. A su vez, la longitud de los fascículos (FL) puede tener un impacto en la velocidad de movimiento a medida que la carga aumenta. Además, y de acuerdo a los resultados observados en nuestro ensayo clínico, se ha destacado que la arquitectura muscular, en particular PA y MT, muestra adaptaciones significativas a entrenamientos con cargas bajas pero a la mayor velocidad posible. Del mismo modo, los programas de entrenamiento con ejercicios de STS de cinco y diez repeticiones muestran ser eficaces en mejorar la función y arquitectura muscular de adultos sedentarios. Este cuerpo de evidencia proporciona una visión valiosa para el diseño de programas de entrenamiento y evaluación de la función muscular, subrayando la importancia de los parámetros de arquitectura muscular en la evaluación de la calidad muscular, el rendimiento físico y la recuperación.

Las conclusiones específicas de cada uno de los estudios que fueron presentados en la tesis doctoral fueron:

Estudio 1

Los resultados de los estudios examinados demuestran que se producen adaptaciones significativas en la arquitectura muscular, en particular en los miembros inferiores, como resultado de al menos cuatro semanas de entrenamiento excéntrico. Esta comprensión profundiza el conocimiento de los profesionales de la salud y el deporte sobre cómo el músculo esquelético responde a este tipo de ejercicio, lo que puede ser de gran utilidad para prevenir lesiones, fomentar el proceso de reparación muscular y mejorar los programas de entrenamiento deportivo.

Sin embargo, a pesar de que estos estudios involucraron a más de 500 participantes, aún no se conoce con certeza cómo este tipo de entrenamiento afecta la arquitectura muscular en los músculos del miembro superior ni en la población de adultos mayores, así como su asociación con la fuerza muscular en estos contextos. Por lo tanto, se sugiere la necesidad de realizar investigaciones adicionales que incluyan estos grupos demográficos y focos de estudio para profundizar nuestro entendimiento de las adaptaciones musculares en respuesta al entrenamiento excéntrico.

Estudio 2

En conclusión, a partir de los estudios analizados, se sugiere que no existen diferencias significativas entre las mediciones de MT realizadas con la sonda en posición longitudinal o transversal en el músculo Vasto Lateral (VL). Sin embargo, se ha destacado que la posición transversal de la sonda presenta una asociación más fuerte con la masa magra de los miembros inferiores. Por lo

tanto, se puede inferir que este método de medición podría ser más adecuado para predecir la masa magra en esta área del cuerpo, convirtiéndose en una herramienta útil cuando no se dispone de una máquina de bioimpedancia bioeléctrica o resonancia nuclear magnética. No obstante, es crucial corroborar estos hallazgos y determinar la posición óptima de la sonda para estimar la masa magra en diferentes partes del cuerpo, lo cual sugiere la necesidad de realizar más investigaciones en este campo.

Estudio 3

En términos generales, los resultados demostraron que solo el MT presentó una correlación significativa tanto con MQI como con la potencia media relativa de STS. En contraste, tanto PA como la FL mostraron correlaciones más débiles, las cuales no fueron significativas. Estos hallazgos refuerzan la idea de que el MT puede ser un indicador relevante de la calidad muscular y la capacidad de generar potencia en la prueba de STS. Específicamente, se observó que un aumento en MT estaba asociado con una mejora en MQI y la potencia media relativa de STS. Aunque PA y FL parecen tener una relación más débil con estos parámetros, esta observación no descarta su importancia en otros contextos o tipos de pruebas de rendimiento muscular. Este estudio ofrece una mayor comprensión de las relaciones entre los parámetros de la arquitectura muscular, MQI y la potencia media relativa de STS. Los resultados podrían tener implicaciones significativas para el diseño de programas de entrenamiento y la evaluación de la función muscular en poblaciones específicas. Por ejemplo, podrían influir en cómo se programan y se prescriben los ejercicios, con la

posibilidad de que el entrenamiento se oriente hacia la optimización del grosor muscular para mejorar la calidad y la potencia muscular. No obstante, es importante señalar que este estudio también destaca la necesidad de investigaciones adicionales. A pesar de que MT mostró una fuerte correlación con MQI y la potencia media relativa de STS, sería beneficioso explorar aún más cómo los cambios en PA y FL pueden influir en estos parámetros. Además, sería útil entender cómo los parámetros de la arquitectura muscular interactúan entre sí y cómo pueden afectar conjuntamente la función muscular. En conclusión, este estudio representa un paso importante hacia una mejor comprensión de la arquitectura muscular y cómo se relaciona con la calidad y la potencia muscular.

Estudio 4

En conclusión, los resultados de la investigación realizada sugieren que el entrenamiento con STS, con modalidades de cinco y diez repeticiones, puede mejorar efectivamente la calidad muscular e inducir adaptaciones en la arquitectura muscular, especialmente en términos de MT y PA. Estos hallazgos son cruciales, ya que demuestran que, a pesar de la utilización de un volumen de entrenamiento relativamente bajo, se obtuvieron resultados positivos en la población estudiada. Estas conclusiones destacan la importancia de fomentar la participación en ejercicios físicos entre la población general, incluso con un volumen que puede parecer bajo a simple vista. Sin embargo, se hace necesario realizar más investigaciones para determinar el volumen de entrenamiento ideal para obtener beneficios óptimos. Adicionalmente, es esencial explorar los efectos de este tipo de entrenamiento sobre variables funcionales que favorezcan el

mejoramiento de actividades cotidianas y promuevan la independencia, especialmente en la población de adultos mayores. Estos descubrimientos respaldan la implementación de programas de STS como una estrategia viable y eficiente para mejorar la función y la arquitectura muscular en adultos sedentarios.

Estudio 5

En conclusión, el presente estudio aporta para obtener una mayor comprensión de las relaciones entre los parámetros de la arquitectura muscular y las variables dependientes del perfil de velocidad de carga (LV). Se encontró que tanto MT como PA mantienen una relación estrecha con la capacidad de levantar cargas. En particular, se observó que a medida que aumentan estos parámetros, podrían inclinar la pendiente de la relación LV, insinuando que estos elementos son cruciales para la capacidad de levantar cargas mayores. Por lo tanto, tanto MT como PA podrían servir como indicadores eficaces para predecir esta capacidad. Por otro lado, el estudio también sugiere un papel importante para la FL. Los resultados sugieren que a medida que FL aumenta, la velocidad de movimiento disminuye más lentamente a medida que aumenta la carga. Esto indica que los músculos con fascículos más largos son capaces de mantener velocidades de movimiento más altas a medida que la carga aumenta, lo que puede tener implicaciones importantes para la eficiencia y la efectividad del movimiento en diversas actividades y deportes.

Sin embargo, se observó que ningún parámetro de la arquitectura muscular mostró una correlación significativa con A_{line} , lo que sugiere que,

aunque estos parámetros tienen relaciones individuales con la capacidad de levantar cargas y la velocidad, no muestran una relación con la combinación de ambos, es decir, la potencia. Por lo tanto, aunque MT, PA y FL son importantes para entender la función muscular, la comprensión de la potencia puede requerir considerar otros factores, como los mecanismos neuromusculares y las características de la técnica del movimiento.

En última instancia, estos hallazgos ofrecen una visión enriquecedora de cómo los parámetros de la arquitectura muscular interactúan con las variables del perfil LV, y pueden tener implicaciones significativas para el diseño de programas de entrenamiento y la evaluación de la función muscular en poblaciones específicas. Sin embargo, también destacan la necesidad de más investigación para explorar estas relaciones en mayor profundidad y en una variedad de contextos.

LIMITACIONES

Los estudios de la presente tesis doctoral presentan limitaciones las cuales deben ser conocidas.

Con respecto al primer estudio, nuestra revisión puede verse afectada por el sesgo de publicación, ya que es posible que los estudios con resultados no significativos o negativos no hayan sido publicados y, por lo tanto, no estén incluidos en nuestro análisis.

Hemos encontrado una considerable heterogeneidad entre los estudios incluidos en el estado físico de los participantes, así como en la metodología utilizada para evaluar la arquitectura muscular. Esta variabilidad puede haber influido en los resultados y limitar la generalización de nuestros hallazgos.

Aunque hemos realizado un esfuerzo exhaustivo para incluir todos los estudios relevantes, nuestra revisión se ha limitado a los estudios publicados en inglés y español, lo que puede haber excluido estudios pertinentes publicados en otros idiomas. Aunque todos los estudios incluidos cumplían con nuestros criterios de inclusión, existen diferencias en la calidad metodológica de estos estudios. Por lo tanto, se debe tener cautela al interpretar los resultados de nuestra revisión. Muchos de los estudios incluidos en nuestra revisión se basaron en mediciones realizadas poco después de la intervención, lo que limita nuestra capacidad para hacer inferencias sobre los efectos a largo plazo de las intervenciones sobre la arquitectura muscular.

Con respecto al segundo y tercer estudio, el mismo evaluador realizó las mediciones y posterior análisis, lo cual puede generar un sesgo en las mediciones. Del mismo modo, si bien los participantes cumplían los criterios de

inclusión, hubo heterogeneidad en la edad de los participantes lo cual tiene que ser considerado en la interpretación de los resultados.

Con respecto al cuarto estudio, una limitación fue la heterogeneidad en la edad de la población. Además, para complementar la efectividad de la intervención, se necesitan mediciones adicionales, como dispositivos dinamométricos para evaluar la fuerza y la velocidad. Otra limitación del estudio es la ausencia de un evaluador durante las sesiones de entrenamiento, lo que resultó en que los participantes no recibieron retroalimentación en tiempo real mientras realizaban los ejercicios para animarles a completar cada repetición a la máxima velocidad. Además, a pesar de ser un ensayo controlado, no fue ciego, ya que tanto los participantes como los evaluadores estaban al tanto de las condiciones del estudio y de sus grupos asignados. Esta falta de cegamiento puede haber introducido sesgos en la recolección y análisis de los datos, ya que las expectativas y preconcepciones podrían haber influido en los resultados y su interpretación. Además, vale la pena señalar que las mediciones de la arquitectura muscular y el análisis subsiguiente fueron realizados por el mismo evaluador. Por lo tanto, se debe tener precaución al generalizar los hallazgos de este estudio.

Con respecto al quinto estudio, solo hubo una etapa de familiarización para los participantes lo cual pudo afectar la fiabilidad en las mediciones de los perfiles carga velocidad. Del mismo modo, las mediciones de la arquitectura muscular fueron determinadas por el mismo evaluador.

Finalmente todas las mediciones de la arquitectura muscular fueron realizadas en el mismo musculo, lo cual impide extrapolar los resultados a otros grupos musculares como de los miembros superiores.

PROYECCIONES

Basado en el trabajo realizado en esta tesis doctoral, se pueden concebir varias proyecciones de investigación futura:

El estudio se centró en la población adulta en general. Sin embargo, sería relevante estudiar específicamente a poblaciones de interés, como las personas mayores, los atletas profesionales o las personas con ciertas condiciones médicas, para comprender mejor cómo las variables musculares interactúan con la capacidad funcional en estos grupos.

A partir de los resultados de esta tesis, sería útil desarrollar y probar programas de ejercicio adaptados a las necesidades específicas de diferentes grupos de personas. Por ejemplo, un programa de ejercicio para personas mayores podría centrarse en mejorar la fuerza y la velocidad muscular

Como se mencionó anteriormente, en esta tesis se centraron las mediciones principalmente en el músculo vasto lateral. Sin embargo, podría ser beneficioso expandir esta investigación para incluir otros grupos musculares, como de los miembros superiores, o los músculos de la espalda. Estudiar estos otros grupos musculares podría proporcionar una imagen más completa de la salud muscular general de un individuo, y podría ayudar a determinar si las medidas de arquitectura muscular en estos grupos tienen un valor predictivo para la capacidad funcional y la calidad de vida.

REFERENCIAS

- [1] J. I. Arocha Rodulfo, "Sedentary lifestyle a disease from XXI century," *Clinica e Investigacion en Arteriosclerosis*, vol. 31, no. 5, pp. 233–240, 2019, doi: 10.1016/j.arteri.2019.04.004.
- [2] P. D. Loprinzi, "Lower extremity muscular strength, sedentary behavior, and mortality," *Age (Omaha)*, vol. 38, no. 2, 2016, doi: 10.1007/s11357-016-9899-9.
- [3] T. J. Suchomel, S. Nimphius, C. R. Bellon, and M. H. Stone, "The Importance of Muscular Strength: Training Considerations," *Sports Medicine*, 2018, doi: 10.1007/s40279-018-0862-z.
- [4] D. Jerez-mayorga *et al.*, "Physiology & Behavior Behavior of the muscle quality index and isometric strength in elderly women," *Physiol Behav*, vol. 227, no. July, p. 113145, 2020, doi: 10.1016/j.physbeh.2020.113145.
- [5] M. Tosato *et al.*, "Measurement of muscle mass in sarcopenia: from imaging to biochemical markers," *Aging Clin Exp Res*, vol. 29, no. 1, pp. 19–27, Feb. 2017, doi: 10.1007/s40520-016-0717-0.
- [6] W. R. Frontera and J. Ochala, "Skeletal Muscle : A Brief Review of Structure and Function," pp. 183–195, 2015, doi: 10.1007/s00223-014-9915-y.
- [7] H. Guderley, "Locomotor performance and muscle metabolic capacities: Impact of temperature and energetic status," *Comparative Biochemistry and Physiology - B Biochemistry and Molecular Biology*, vol. 139, no. 3 SPEC.ISS. Elsevier Inc., pp. 371–382, 2004. doi: 10.1016/j.cbpc.2004.04.001.
- [8] B. K. Pedersen and M. A. Febbraio, "Muscles, exercise and obesity: Skeletal muscle as a secretory organ," *Nature Reviews Endocrinology*, vol. 8, no. 8. pp. 457–465, Aug. 2012. doi: 10.1038/nrendo.2012.49.
- [9] S. B. Heymsfield, M. C. Gonzalez, J. Lu, G. Jia, and J. Zheng, "Skeletal muscle mass and quality: Evolution of modern measurement concepts in the context of sarcopenia," in *Proceedings of the Nutrition Society*, Cambridge University Press, Nov. 2015, pp. 355–366. doi: 10.1017/S0029665115000129.

- [10] K. M. Lavin, B. M. Roberts, C. S. Fry, T. Moro, B. B. Rasmussen, and M. M. Bamman, "The importance of resistance exercise training to combat neuromuscular aging," *Physiology*, vol. 34, no. 2. American Physiological Society, pp. 112–122, Mar. 01, 2019. doi: 10.1152/physiol.00044.2018.
- [11] M. S. Fragala, A. M. Kenny, and G. A. Kuchel, "Muscle Quality in Aging: a Multi-Dimensional Approach to Muscle Functioning with Applications for Treatment," *Sports Medicine*, vol. 45, no. 5, pp. 641–658, 2015, doi: 10.1007/s40279-015-0305-z.
- [12] M. Narici, M. Franchi, and C. Maganaris, "Muscle structural assembly and functional consequences," pp. 276–284, 2016, doi: 10.1242/jeb.128017.
- [13] S. Ostrovidov *et al.*, "3D Bioprinting in Skeletal Muscle Tissue Engineering," *Small*, vol. 15, no. 24. Wiley-VCH Verlag, Jun. 14, 2019. doi: 10.1002/smll.201805530.
- [14] T. Abe, J. P. Loenneke, and R. S. Thiebaud, "Morphological and functional relationships with ultrasound measured muscle thickness of the lower extremity: A brief review," *Ultrasound*, vol. 23, no. 3, pp. 166–173, 2015, doi: 10.1177/1742271X15587599.
- [15] J. Marušič, R. Vatovec, G. Marković, and N. Šarabon, "Effects of eccentric training at long-muscle length on architectural and functional characteristics of the hamstrings," *Scand J Med Sci Sports*, vol. 30, no. 11, pp. 2130–2142, 2020, doi: 10.1111/sms.13770.
- [16] K. D. Seymore, Z. J. Domire, P. DeVita, P. M. Rider, and A. S. Kulas, "The effect of Nordic hamstring strength training on muscle architecture, stiffness, and strength," *Eur J Appl Physiol*, vol. 117, no. 5, pp. 943–953, 2017, doi: 10.1007/s00421-017-3583-3.
- [17] T. M. M. W. T. G. Balshaw, G. J. Massey, and J. P. Folland, "Muscle architecture and morphology as determinants of explosive strength," *Eur J Appl Physiol*, 2021, doi: 10.1007/s00421-020-04585-1.
- [18] A. J. Blazevich and N. C. C. Sharp, "Understanding Muscle Architectural Adaptation: Macro- and Micro-Level," pp. 1–10, 2005, doi: 10.1159/000089964.

- [19] R. L. Lieber, T. J. Roberts, S. S. Blemker, S. S. M. Lee, and W. Herzog, "Skeletal muscle mechanics, energetics and plasticity Daniel P Ferris," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 14, no. 1. BioMed Central Ltd., Oct. 23, 2017. doi: 10.1186/s12984-017-0318-y.
- [20] R. J. Brinkman and J. J. Hage, "Andreas Vesalius' 500th anniversary: The initiation of hand and forearm myology," *Journal of Hand Surgery: European Volume*, vol. 40, no. 9, pp. 987–994, Nov. 2015, doi: 10.1177/1753193415594090.
- [21] R. Romero Reveron, "Andreas Vesalius (1514-1564): Fundador de la Anatomía Humana Moderna," *International Journal of Morphology*, vol. 25, no. 4, Dec. 2007, doi: 10.4067/S0717-95022007000400026.
- [22] A. Moreno-Egea, "El Anatomista Español que se Atrevió a Rectificar a Vesalio: Juan Valverde de Amusco The Spanish Anatomist who Dared to Rectify Vesalius: Juan Valverde de Amusco," 2016.
- [23] M. V Narici *et al.*, "Effect of aging on human muscle architecture," no. July 2003, pp. 2229–2234, 2014, doi: 10.1152/jappphysiol.00433.2003.
- [24] M. Narici *et al.*, "Age-related alterations in muscle architecture are a signature of sarcopenia: the ultrasound sarcopenia index," *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, vol. 12, no. 4, pp. 973–982, Aug. 2021, doi: 10.1002/jcsm.12720.
- [25] F. J. Lanferdini, F. Diefenthaler, A. G. Ávila, A. R. P. Moro, S. van der Zwaard, and M. A. Vaz, "Quadriceps Muscle Morphology Is an Important Determinant of Maximal Isometric and Crank Torques of Cyclists," *Sports*, vol. 11, no. 2, Feb. 2023, doi: 10.3390/sports11020022.
- [26] J. Sanchis-Moysi, J. A. Calbet, J. J. Gonzalez-Henriquez, S. Cruz-Ramírez, S. Martin-Rodriguez, and V. Galvan-Alvarez, "Architectural anatomy of the human tibialis anterior presents morphological asymmetries between superficial and deep unipennate regions," *J Anat*, Mar. 2023, doi: 10.1111/joa.13864.
- [27] Y. Ichinose, H. Kanehisa, M. Ito, Y. Kawakami, and T. Fukunaga, "Morphological and functional differences in the elbow extensor muscle between highly trained male and female athletes."

- [28] L. de S. Cordeiro, D. G. Linhares, A. O. Barros dos Santos, L. Lima dos Santos, J. B. P. de Castro, and R. G. de S. Vale, "Influence of resistance training on muscle architecture in older adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials," *Archives of Gerontology and Geriatrics*, vol. 112. Elsevier Ireland Ltd, Sep. 01, 2023. doi: 10.1016/j.archger.2023.105020.
- [29] M. Narici *et al.*, "Age-related alterations in muscle architecture are a signature of sarcopenia: the ultrasound sarcopenia index," *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, vol. 12, no. 4, pp. 973–982, 2021, doi: 10.1002/jcsm.12720.
- [30] L. de S. Cordeiro, D. G. Linhares, A. O. Barros dos Santos, L. Lima dos Santos, J. B. P. de Castro, and R. G. de S. Vale, "Influence of resistance training on muscle architecture in older adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials," *Archives of Gerontology and Geriatrics*, vol. 112. Elsevier Ireland Ltd, Sep. 01, 2023. doi: 10.1016/j.archger.2023.105020.
- [31] R. Ramirez-Campillo, F. García-Pinillos, P. T. Nikolaidis, F. M. Clemente, P. Gentil, and A. García-Hermoso, "Body composition adaptations to lower-body plyometric training: A systematic review and meta-analysis," *Biology of Sport*, vol. 39, no. 2. Institute of Sport, pp. 273–287, 2022. doi: 10.5114/BIOLSPORT.2022.104916.
- [32] J. Douglas, S. Pearson, A. Ross, and M. McGuigan, "Chronic Adaptations to Eccentric Training: A Systematic Review," *Sports Medicine*, vol. 47, no. 5. Springer International Publishing, pp. 917–941, May 01, 2017. doi: 10.1007/s40279-016-0628-4.
- [33] F. G. De Carvalho, J. N. Justice, E. C. de Freitas, E. E. Kershaw, and L. M. Sparks, "Adipose tissue quality in aging: How structural and functional aspects of adipose tissue impact skeletal muscle quality," *Nutrients*, vol. 11, no. 11. MDPI AG, Nov. 01, 2019. doi: 10.3390/nu11112553.
- [34] J. Pratt, G. De Vito, M. Narici, and C. Boreham, "Neuromuscular Junction Aging: A Role for Biomarkers and Exercise," *Journals of Gerontology -*

Series A Biological Sciences and Medical Sciences, vol. 76, no. 4, pp. 576–585, 2021, doi: 10.1093/gerona/glaa207.

- [35] A. J. Cruz-Jentoft and A. A. Sayer, "Sarcopenia," *The Lancet*, vol. 393, no. 10191. Lancet Publishing Group, pp. 2636–2646, Jun. 29, 2019. doi: 10.1016/S0140-6736(19)31138-9.
- [36] M. Tieland, I. Trouwborst, and B. C. Clark, "Skeletal muscle performance and ageing," *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, vol. 9, no. 1, pp. 3–19, 2018, doi: 10.1002/jcsm.12238.
- [37] A. S. Tagliafico, B. Bignotti, L. Torri, and F. Rossi, "Sarcopenia: how to measure, when and why," *Radiologia Medica*, vol. 127, no. 3. Springer-Verlag Italia s.r.l., pp. 228–237, Mar. 01, 2022. doi: 10.1007/s11547-022-01450-3.
- [38] P. Lopez, E. N. Wilhelm, A. Rech, F. Minozzo, R. Radaelli, and R. S. Pinto, "Echo intensity independently predicts functionality in sedentary older men," *Muscle Nerve*, vol. 55, no. 1, pp. 9–15, 2017, doi: 10.1002/mus.25168.
- [39] T. Ikezoe, Y. Asakawa, Y. Fukumoto, R. Tsukagoshi, and N. Ichihashi, "Associations of muscle stiffness and thickness with muscle strength and muscle power in elderly women," *Geriatr Gerontol Int*, vol. 12, no. 1, pp. 86–92, Jan. 2012, doi: 10.1111/j.1447-0594.2011.00735.x.
- [40] J. K. Sponbeck, C. R. Frandsen, S. T. Ridge, D. A. Swanson, D. C. Swanson, and A. W. Johnson, "Leg muscle cross-sectional area measured by ultrasound is highly correlated with MRI," *J Foot Ankle Res*, vol. 14, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1186/s13047-021-00446-y.
- [41] E. M. Strasser, T. Draskovits, M. Praschak, M. Quittan, and A. Graf, "Association between ultrasound measurements of muscle thickness, pennation angle, echogenicity and skeletal muscle strength in the elderly," *Age (Omaha)*, vol. 35, no. 6, pp. 2377–2388, 2013, doi: 10.1007/s11357-013-9517-z.
- [42] M. Miyatani, H. Kanehisa, M. Ito, Y. Kawakami, and T. Eukunaga, "The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness

- measurements in different muscle groups," *Eur J Appl Physiol*, vol. 91, no. 2–3, pp. 264–272, Mar. 2004, doi: 10.1007/s00421-003-0974-4.
- [43] K. M. M. E. Lima, S. P. Carneiro, D. D. S. Alves, C. C. Peixinho, and L. F. De Oliveira, "Assessment of Muscle Architecture of the Biceps Femoris and Vastus Lateralis by Ultrasound After a Chronic Stretching Program," 2014. [Online]. Available: www.cjsportmed.com
- [44] R. Marzilger, S. Bohm, F. Mersmann, and A. Arampatzis, "Modulation of physiological cross-sectional area and fascicle length of vastus lateralis muscle in response to eccentric exercise," *J Biomech*, vol. 111, p. 110016, 2020, doi: 10.1016/j.jbiomech.2020.110016.
- [45] Y. Zhou and Y.-P. Zheng, "Series in BioEngineering Sonomyography Dynamic and Functional Assessment of Muscle Using Ultrasound Imaging." [Online]. Available: <https://www.springer.com/series/10358>
- [46] S. Barbat-Artigas, Y. Rolland, M. Zamboni, and M. Aubertin-Leheudre, "How to assess functional status: a new muscle quality index.," *J Nutr Health Aging*, vol. 16, no. 1, pp. 67–77, Jan. 2012, doi: 10.1007/s12603-012-0004-5.
- [47] D. Jerez-Mayorga, L. J. C. Ríos, A. Reyes, P. Delgado-Floody, R. M. Payer, and I. M. G. Requena, "Muscle quality index and isometric strength in older adults with hip osteoarthritis," *PeerJ*, vol. 2019, no. 8, 2019, doi: 10.7717/peerj.7471.
- [48] A. S. Ribeiro, A. Picoloto, J. Pedro Nunes, E. S. Bezerra, B. J. Schoenfeld, and E. S. Cyrino, "Effects of Different Resistance Training Loads on the Muscle Quality Index in Older Women," 2020. [Online]. Available: www.nasca.com
- [49] S. Chaovalit, N. F. Taylor, and K. J. Dodd, "Sit-to-stand exercise programs improve sit-to-stand performance in people with physical impairments due to health conditions: a systematic review and meta-analysis," *Disabil Rehabil*, vol. 42, no. 9, pp. 1202–1211, 2020, doi: 10.1080/09638288.2018.1524518.

- [50] E. Zampogna *et al.*, "The 5-repetition sit-to-stand test as an outcome measure for pulmonary rehabilitation in subjects with Asthma," *Respir Care*, vol. 66, no. 5, pp. 769–776, 2021, doi: 10.4187/respcare.08452.
- [51] J. Alcazar *et al.*, "Age- And sex-specific changes in lower-limb muscle power throughout the lifespan," *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, vol. 75, no. 7, pp. 1369–1378, 2020, doi: 10.1093/gerona/glaa013.
- [52] K. F. Reid and R. A. Fielding, "Skeletal muscle power: A critical determinant of physical functioning in older adults," *Exerc Sport Sci Rev*, vol. 40, no. 1, pp. 4–12, 2012, doi: 10.1097/JES.0b013e31823b5f13.
- [53] J. Alcazar, C. Rodriguez-lopez, C. Delecluse, M. Thomis, and E. Van Roie, "Ten-year longitudinal changes in muscle power , force , and velocity in young , middle-aged , and older adults," no. December 2022, 2023, doi: 10.1002/jcsm.13184.
- [54] D. Jiménez-Lupión, L. Chiroso-Ríos, D. Martínez-García, M. Rodríguez-Pérez, and D. Jerez-Mayorga, "Effects of power training on functional capacity related to fall risk in older adults: A systematic review and meta-analysis.," *Arch Phys Med Rehabil*, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.apmr.2023.01.022.
- [55] T. J. Suchomel, S. Nimphius, and M. H. Stone, "The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance," *Sports Medicine*, vol. 46, no. 10, pp. 1419–1449, 2016, doi: 10.1007/s40279-016-0486-0.
- [56] R. L. Lieber and S. R. Ward, "Skeletal muscle design to meet functional demands," pp. 1466–1476, 2011, doi: 10.1098/rstb.2010.0316.
- [57] G. Coratella, N. Rinaldo, and F. Schena, "Quadriceps concentric-eccentric force and muscle architecture in COPD patients vs healthy men," *Hum Mov Sci*, vol. 59, no. April, pp. 88–95, 2018, doi: 10.1016/j.humov.2018.03.015.
- [58] B. M. Hegde, "Health benefits of exercise," *Kuwait Medical Journal*, vol. 50, no. 2, pp. 143–145, 2018, doi: 10.1249/01.mss.0000477455.85942.2f.

- [59] H. Blake, N. Stanulewicz, and F. McGill, "Predictors of physical activity and barriers to exercise in nursing and medical students," *J Adv Nurs*, vol. 73, no. 4, pp. 917–929, 2017, doi: 10.1111/jan.13181.
- [60] I. Portela-Pino, T. Valverde-Esteve, and M. J. Martínez-Patiño, "Age as a determining variable in the practice or abandonment of physical exercise among young people," *PLoS One*, vol. 16, no. 6 June, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0253750.
- [61] P. J. A. Nicolson, K. L. Bennell, F. L. Dobson, A. Van Ginckel, M. A. Holden, and R. S. Hinman, "Interventions to increase adherence to therapeutic exercise in older adults with low back pain and/or hip/knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis," *Br J Sports Med*, vol. 51, no. 10, pp. 791–799, 2017, doi: 10.1136/bjsports-2016-096458.
- [62] K. Spiteri, D. Broom, A. H. Bekhet, J. X. De Caro, B. Laventure, and K. Grafton, "Barriers and motivators of physical activity participation in middle-aged and older adults—a systematic review," *J Aging Phys Act*, vol. 27, no. 6, pp. 929–944, 2019, doi: 10.1123/japa.2018-0343.
- [63] S. J. Hyun, J. Lee, and B. H. Lee, "The effects of sit-to-stand training combined with real-time visual feedback on strength, balance, gait ability, and quality of life in patients with stroke: A randomized controlled trial," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 18, no. 22, 2021, doi: 10.3390/ijerph182212229.
- [64] J. Alcazar *et al.*, "The Force-Velocity Relationship in Older People: Reliability and Validity of a Systematic Procedure," *Int J Sports Med*, vol. 38, no. 14, pp. 1097–1104, 2017, doi: 10.1055/s-0043-119880.
- [65] M. C. Zourdos *et al.*, "Nutrición Hospitalaria Trabajo Original Otros Efficacy of daily 1RM training in well-trained powerlifters and weightlifters: a case series Efficacy of daily one-repetition maximum training in well-trained powerlifters and weightlifters: a case series," *Nutr Hosp*, vol. 33, no. 2, pp. 437–443, 2016.
- [66] A. Pérez-Castilla, I. Jukic, D. Janicijevic, Z. Akyildiz, D. Senturk, and A. García-Ramos, "Load-Velocity Relationship Variables to Assess the Maximal Neuromuscular Capacities During the Back-Squat Exercise,"

- Sports Health*, vol. 14, no. 6, pp. 885–893, Nov. 2022, doi: 10.1177/19417381211064603.
- [67] A. Pérez-Castilla, M. E. L. Quidel-Catrilebún, M. A. Rodríguez-Pérez, and A. García-Ramos, "Association of the load-velocity relationship variables with 2000-m rowing ergometer performance," *Eur J Sport Sci*, 2022, doi: 10.1080/17461391.2022.2054364.
- [68] A. Pérez-Castilla, I. Jukic, D. Janicijevic, Z. Akyildiz, D. Senturk, and A. García-Ramos, "Load-Velocity Relationship Variables to Assess the Maximal Neuromuscular Capacities During the Back-Squat Exercise," *Sports Health*, vol. 14, no. 6, pp. 885–893, Nov. 2022, doi: 10.1177/19417381211064603.
- [69] A. Pérez-Castilla, R. Ramirez-Campillo, J. F. T. Fernandes, and A. García-Ramos, "Feasibility of the 2-point method to determine the load–velocity relationship variables during the countermovement jump exercise," *J Sport Health Sci*, 2022, doi: 10.1016/j.jshs.2021.11.003.
- [70] M. Ouzzani, H. Hammady, Z. Fedorowicz, and A. Elmagarmid, "Rayyan-a web and mobile app for systematic reviews," *Syst Rev*, vol. 5, no. 1, Dec. 2016, doi: 10.1186/s13643-016-0384-4.
- [71] A. G. Cashin and J. H. McAuley, "Clinimetrics: Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale," *Journal of Physiotherapy*, vol. 66, no. 1. Australian Physiotherapy Association, p. 59, Jan. 01, 2020. doi: 10.1016/j.jphys.2019.08.005.
- [72] E. C. Vega, D. Jerez-mayorga, C. C. Jara, I. Guzman-guzman, A. R. Ponce, and J. Chiroso, "Validity and reliability of evaluating hip abductor strength using different normalization methods in a functional electromechanical device," pp. 1–12, 2018.
- [73] K. I. Norton, "Standards for Anthropometry Assessment," in *Kinanthropometry and Exercise Physiology*, Routledge, 2019, pp. 68–137. doi: 10.4324/9781315385662-4.
- [74] R. Marzilger, S. Bohm, F. Mersmann, and A. Arampatzis, "Effects of lengthening velocity during eccentric training on vastus lateralis muscle

- hypertrophy," *Front Physiol*, vol. 10, no. JUL, 2019, doi: 10.3389/fphys.2019.00957.
- [75] W. G. Hopkins, S. W. Marshall, A. M. Batterham, and J. Hanin, "Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science," *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 41, no. 1. pp. 3–12, Jan. 2009. doi: 10.1249/MSS.0b013e31818cb278.
- [76] A. J. Blazevich, N. D. Gill, and S. Zhou, "Intra- and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo," pp. 289–310, 2006, doi: 10.1111/j.1469-7580.2006.00619.x.
- [77] S. Perkisas *et al.*, "Application of ultrasound for muscle assessment in sarcopenia: 2020 SARCUS update," *Eur Geriatr Med*, vol. 12, no. 1, pp. 45–59, 2021, doi: 10.1007/s41999-020-00433-9.
- [78] J. Alcazar *et al.*, "The sit-to-stand muscle power test: An easy , inexpensive and portable procedure to assess muscle power in older people," *Exp Gerontol*, vol. 112, no. June, pp. 38–43, 2018, doi: 10.1016/j.exger.2018.08.006.
- [79] M. S. Fragala *et al.*, "Muscle quality index improves with resistance exercise training in older adults," *Exp Gerontol*, vol. 53, pp. 1–6, May 2014, doi: 10.1016/j.exger.2014.01.027.
- [80] A. Shariat *et al.*, "Borg CR-10 scale as a new approach to monitoring office exercise training," *Work*, vol. 60, no. 4, pp. 549–554, 2018, doi: 10.3233/WOR-182762.
- [81] K. L. Sainani, "Reliability Statistics," *PM and R*, vol. 9, no. 6. Elsevier Inc., pp. 622–628, Jun. 01, 2017. doi: 10.1016/j.pmrj.2017.05.001.
- [82] J. M. Drouin, T. C. Valovich-McLeod, S. J. Shultz, B. M. Gansneder, and D. H. Perrin, "Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements," *Eur J Appl Physiol*, vol. 91, no. 1, pp. 22–29, Jan. 2004, doi: 10.1007/s00421-003-0933-0.
- [83] J. Mendiguchia *et al.*, "El sprint mejora la incidencia de lesiones antes que el hamstrin curl Sprint versus isolated eccentric training: Comparative effects on hamstring architecture and performance in soccer players," *PLoS*

- One*, vol. 15, no. 2, p. e0228283, 2020, [Online]. Available: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0228283>
<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0228283>
- [84] G. Coratella, C. Milanese, and F. Schena, "Unilateral eccentric resistance training: A direct comparison between isokinetic and dynamic constant external resistance modalities," *Eur J Sport Sci*, vol. 15, no. 8, pp. 720–726, 2015, doi: 10.1080/17461391.2015.1060264.
- [85] R. G. Timmins *et al.*, "Architectural Changes of the Biceps Femoris Long Head after Concentric or Eccentric Training," *Med Sci Sports Exerc*, vol. 48, no. 3, pp. 499–508, 2016, doi: 10.1249/MSS.0000000000000795.
- [86] M. N. Bourne *et al.*, "Impact of the Nordic hamstring and hip extension exercises on hamstring architecture and morphology: Implications for injury prevention," *Br J Sports Med*, vol. 51, no. 5, pp. 469–477, 2017, doi: 10.1136/bjsports-2016-096130.
- [87] D. Alonso-Fernandez, Y. Taboada-Iglesias, T. García-Remeseiro, and Á. Gutiérrez-Sánchez, "Effects of the functional heel drop exercise on the muscle architecture of the gastrocnemius," *J Sport Rehabil*, vol. 29, no. 8, pp. 1053–1059, 2020, doi: 10.1123/JSR.2019-0150.
- [88] J. D. Presland *et al.*, "Hamstring strength and architectural adaptations following inertial flywheel resistance training," *J Sci Med Sport*, vol. 23, no. 11, pp. 1093–1099, 2020, doi: 10.1016/j.jsams.2020.04.007.
- [89] J. B. Ribeiro-Alvares, V. B. Marques, M. A. Vaz, and B. M. Baroni, "Four weeks of nordic hamstring exercise reduce muscle injury risk factors in young adults," *J Strength Cond Res*, vol. 32, no. 5, pp. 1254–1262, 2018, doi: 10.1519/JSC.0000000000001975.
- [90] P. Abián, F. Martínez, F. Jiménez, and J. Abián-Vicén, "Effects of eccentric single-leg decline squat exercise on the morphological and structural properties of the vastus lateralis and patellar tendon," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 17, no. 24, pp. 1–12, 2020, doi: 10.3390/ijerph17249410.
- [91] E. L. Cadore *et al.*, "Muscle conduction velocity, strength, neural activity, and morphological changes after eccentric and concentric training," *Scand*

- J Med Sci Sports*, vol. 24, no. 5, pp. e343–e352, 2014, doi: 10.1111/sms.12186.
- [92] G. Guilhem, C. Cornu, N. A. Maffiuletti, and A. Guével, "Neuromuscular adaptations to isoload versus isokinetic eccentric resistance training," *Med Sci Sports Exerc*, vol. 45, no. 2, pp. 326–335, 2013, doi: 10.1249/MSS.0b013e31826e7066.
- [93] M. V Franchi, N. D. Reeves, M. V Narici, and K. Huey, "Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs . Concentric Loading : Morphological , Molecular , and Metabolic Adaptations," vol. 8, no. July, pp. 1–16, 2017, doi: 10.3389/fphys.2017.00447.
- [94] F. Sanz-López, C. Berzosa Sánchez, F. Hita-Contreras, D. Cruz-Díaz, and A. Martínez-Amat, "Ultrasound Changes in Achilles Tendon and Gastrocnemius Medialis Muscle on Squat Eccentric Overload and Running Performance.," *J Strength Cond Res*, vol. 30, no. 7, pp. 2010–2018, Jul. 2016, doi: 10.1519/JSC.0000000000001298.
- [95] F. Sanz-López, C. Berzosa, F. Hita-Contreras, and A. Martínez-Amat, "Effects of eccentric overload training on patellar tendon and vastus lateralis in three days of consecutive running," *Knee*, vol. 24, no. 3, pp. 570–579, 2017, doi: 10.1016/j.knee.2017.03.002.
- [96] R. G. Timmins *et al.*, "Sprinting, Strength, and Architectural Adaptations Following Hamstring Training in Australian Footballers," *Scand J Med Sci Sports*, vol. 31, no. 6, pp. 1276–1289, 2021, doi: 10.1111/sms.13941.
- [97] L. Llorca-Almuzara *et al.*, "Biceps femoris activation during hamstring strength exercises: A systematic review," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 18, no. 16, 2021, doi: 10.3390/ijerph18168733.
- [98] R. Gérard, L. Gojon, P. Declève, and J. Van Cant, "The effects of eccentric training on biceps femoris architecture and strength: A systematic review with meta-analysis," *J Athl Train*, vol. 55, no. 5, pp. 501–514, 2020, doi: 10.4085/1062-6050-194-19.
- [99] W. S. A. Al Attar, N. Soomro, P. J. Sinclair, E. Pappas, and R. H. Sanders, "Effect of Injury Prevention Programs that Include the Nordic Hamstring Exercise on Hamstring Injury Rates in Soccer Players: A Systematic Review

- and Meta-Analysis," *Sports Medicine*, vol. 47, no. 5, pp. 907–916, 2017, doi: 10.1007/s40279-016-0638-2.
- [100] L. Ishøi, P. Hölmich, P. Aagaard, K. Thorborg, T. Bandholm, and A. Serner, "Effects of the Nordic Hamstring exercise on sprint capacity in male football players: a randomized controlled trial," *J Sports Sci*, vol. 36, no. 14, pp. 1663–1672, 2018, doi: 10.1080/02640414.2017.1409609.
- [101] D. Muniz Medeiros, C. Marchiori, and B. Manfredini Baroni, "Effect of Nordic Hamstring Exercise Training on Knee Flexors Eccentric Strength and Fascicle Length: A Systematic Review and Meta-Analysis," *J Sport Rehabil*, vol. 30, no. 3, pp. 482–491, 2021, doi: 10.1123/JSR.2019-0388.
- [102] M. F. Vidmar *et al.*, "Isokinetic eccentric training is more effective than constant load eccentric training for quadriceps rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial," *Braz J Phys Ther*, vol. 24, no. 5, pp. 424–432, 2020, doi: 10.1016/j.bjpt.2019.07.003.
- [103] M. F. Vidmar *et al.*, "Isokinetic eccentric training is more effective than constant load eccentric training on the quadriceps rehabilitation following partial meniscectomy: A randomized clinical trial," *Physical Therapy in Sport*, vol. 39, pp. 120–125, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.ptsp.2019.07.005.
- [104] S. Barrué-Belou, D. Amarantini, P. Marque, and J. Duclay, "Neural adaptations to submaximal isokinetic eccentric strength training," *Eur J Appl Physiol*, vol. 116, no. 5, pp. 1021–1030, May 2016, doi: 10.1007/s00421-016-3367-1.
- [105] P. Turton, R. Hay, and I. Welters, "Assessment of peripheral muscle thickness and architecture in healthy volunteers using hand-held ultrasound devices; A comparison study with standard ultrasound," *BMC Med Imaging*, vol. 19, no. 1, Aug. 2019, doi: 10.1186/s12880-019-0373-x.
- [106] X. Bas, V. Hooren, X. Panayiotis Teratsias, and E. F. Hodson-Tole, "Ultrasound imaging to assess skeletal muscle architecture during movements: a systematic review of methods, reliability, and challenges,"

- J Appl Physiol*, vol. 128, pp. 978–999, 2020, doi: 10.1152/jappphysiol.00835.2019.-B-mode.
- [107] Y. Endo *et al.*, “Intraclass correlation coefficient of trunk muscle thicknesses in different positions measured using ultrasonography.”
- [108] C. R. De Souza Silva, A. Dos Santos Costa, T. Rocha, D. A. M. De Lima, T. Do Nascimento, and S. R. A. De Moraes, “Quadriceps muscle architecture ultrasonography of individuals with type 2 diabetes: Reliability and applicability,” *PLoS One*, vol. 13, no. 10, pp. 1–9, 2018, doi: 10.1371/journal.pone.0205724.
- [109] A. Ticinesi *et al.*, “Assessing sarcopenia with vastus lateralis muscle ultrasound: an operative protocol,” *Aging Clin Exp Res*, vol. 30, no. 12, pp. 1437–1443, Dec. 2018, doi: 10.1007/s40520-018-0958-1.
- [110] T. Abe, R. S. Thiebaud, J. P. Loenneke, and K. C. Young, “Prediction and validation of DXA-derived appendicular lean soft tissue mass by ultrasound in older adults,” *Age (Omaha)*, vol. 37, no. 6, pp. 1–10, Dec. 2015, doi: 10.1007/s11357-015-9853-2.
- [111] H. Martinson and M. J. Stokes, “u-n Applied Journal of Measurement of anterior tibial muscle size using real-time ultrasound imaging,” 1991.
- [112] M. Ogawa, N. Mitsukawa, M. G. Bembem, and T. Abe, “Ultrasound Assessment of Adductor Muscle Size Using Muscle Thickness of the Thigh,” 2012.
- [113] M. V. Franchi *et al.*, “Muscle thickness correlates to muscle cross-sectional area in the assessment of strength training-induced hypertrophy,” *Scand J Med Sci Sports*, vol. 28, no. 3, pp. 846–853, Mar. 2018, doi: 10.1111/sms.12961.
- [114] E. Kellis and A. J. Blazevich, “Hamstrings force-length relationships and their implications for angle-specific joint torques: a narrative review,” *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, vol. 14, no. 1. BioMed Central Ltd, Dec. 01, 2022. doi: 10.1186/s13102-022-00555-6.
- [115] D. Cheng, H. Luo, S. Ren, N. Wang, and J. Wu, “The Effects of Fluid Hydration Status on Ultrasound Muscle Measurement in Hemodialysis

- Patients," *Journal of Renal Nutrition*, vol. 33, no. 1, pp. 214–218, Jan. 2023, doi: 10.1053/j.jrn.2022.04.007.
- [116] J. C. Brown, M. O. Harhay, and M. N. Harhay, "The muscle quality index and mortality among males and females," *Ann Epidemiol*, vol. 26, no. 9, pp. 648–653, 2016, doi: 10.1016/j.annepidem.2016.07.006.
- [117] Y. Takai, M. Ohta, R. Akagi, and H. Kanehisa, "Sit-to-stand Test to Evaluate Knee Extensor Muscle Size and Strength in the Elderly : A Novel Approach," no. 1985, 2002, doi: 10.2114/jpa2.28.123.
- [118] E. C. Guadagnin, L. A. A. Priario, F. P. Carpes, and M. A. Vaz, "Correlation between lower limb isometric strength and muscle structure with normal and challenged gait performance in older adults," *Gait Posture*, vol. 73, pp. 101–107, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.07.131.
- [119] R. Correa-de-araujo, M. O. Harris-love, I. Miljkovic, and M. S. Fragala, "The Need for Standardized Assessment of Muscle Quality in Skeletal Muscle Function Deficit and Other Aging-Related Muscle Dysfunctions: A Symposium Report," vol. 8, no. February, pp. 1–19, 2017, doi: 10.3389/fphys.2017.00087.
- [120] M. A. Naimo, A. N. Varanoske, J. M. Hughes, and S. M. Pasiakos, "Skeletal Muscle Quality: A Biomarker for Assessing Physical Performance Capabilities in Young Populations," *Front Physiol*, vol. 12, no. August, pp. 1–17, 2021, doi: 10.3389/fphys.2021.706699.
- [121] A. Ticinesi, T. Meschi, M. V. Narici, F. Lauretani, and M. Maggio, "Muscle Ultrasound and Sarcopenia in Older Individuals : A Clinical Perspective," *J Am Med Dir Assoc*, 2016, doi: 10.1016/j.jamda.2016.11.013.
- [122] T. C. Scanlon *et al.*, "Muscle architecture and strength: Adaptations to short-term resistance training in older adults," *Muscle Nerve*, vol. 49, no. 4, pp. 584–592, 2014, doi: 10.1002/mus.23969.
- [123] R. Lizama-Pérez, ; Chiroso-Rios, ; Olave, ; Ferragut, ; Vila, and & Jerez-Mayorga, "Effects of Eccentric Exercise on Muscle Architecture in Adults: A Systematic Review Efectos del Ejercicio Excéntrico en la Arquitectura Muscular en Adultos: Una Revisión Sistemática," 2022.

- [124] G. E. Frykberg and C. K. Ha, "Movement analysis of sit-to-stand – research informing clinical practice," 2015, doi: 10.1179/1743288X15Y.0000000005.
- [125] R. L. Lieber, "Can we just forget about pennation angle?," *J Biomech*, vol. 132, no. January, p. 110954, 2022, doi: 10.1016/j.jbiomech.2022.110954.
- [126] J. Son, W. Z. Rymer, and S. S. M. Lee, "Limited fascicle shortening and fascicle rotation may be associated with impaired voluntary force-generating capacity in pennate muscles of chronic stroke survivors," *Clinical Biomechanics*, vol. 75, May 2020, doi: 10.1016/j.clinbiomech.2020.105007.
- [127] P. Casey *et al.*, "The current use of ultrasound to measure skeletal muscle and its ability to predict clinical outcomes: a systematic review," *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, vol. 13, no. 5, pp. 2298–2309, 2022, doi: 10.1002/jcsm.13041.
- [128] J. Fisher, J. Steele, P. McKinnon, and S. McKinnon, "Strength Gains as a Result of Brief, Infrequent Resistance Exercise in Older Adults," *Journal of Sports Medicine*, vol. 2014, pp. 1–7, 2014, doi: 10.1155/2014/731890.
- [129] R. Ramírez-Campillo *et al.*, "High-speed resistance training is more effective than low-speed resistance training to increase functional capacity and muscle performance in older women," *Exp Gerontol*, vol. 58, pp. 51–57, 2014, doi: 10.1016/j.exger.2014.07.001.
- [130] A. T. Balachandran *et al.*, "Comparison of Power Training vs Traditional Strength Training on Physical Function in Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis," *JAMA Netw Open*, vol. 5, no. 5, May 2022, doi: 10.1001/jamanetworkopen.2022.11623.
- [131] D. L. Marques, H. P. Neiva, D. A. Marinho, and M. C. Marques, "Manipulating the Resistance Training Volume in Middle-Aged and Older Adults: A Systematic Review with Meta-Analysis of the Effects on Muscle Strength and Size, Muscle Quality, and Functional Capacity," *Sports Medicine*, vol. 53, no. 2. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 503–518, Feb. 01, 2023. doi: 10.1007/s40279-022-01769-x.

- [132]P. C. Dempsey *et al.*, "Interrupting prolonged sitting with brief bouts of light walking or simple resistance activities reduces resting blood pressure and plasma noradrenaline in type 2 diabetes," *J Hypertens*, vol. 34, no. 12, pp. 2376–2382, 2016, doi: 10.1097/HJH.0000000000001101.
- [133]P. C. Dempsey *et al.*, "Benefits for Type 2 Diabetes of Interrupting Prolonged Sitting With Brief Bouts of Light Walking or Simple Resistance Activities," *Diabetes Care*, vol. 39, no. 6, pp. 964–972, 2016, doi: 10.2337/dc15-2336.
- [134]S. Matsufuji *et al.*, "Effect of Chair Stand Exercise on Activity of Daily Living: A Randomized Controlled Trial in Hemodialysis Patients," *Journal of Renal Nutrition*, vol. 25, no. 1, pp. 17–24, 2015, doi: 10.1053/j.jrn.2014.06.010.
- [135]R. W. Bohannon and R. Crouch, "1-Minute Sit-To-Stand Test: SYSTEMATIC REVIEW of PROCEDURES, PERFORMANCE, and CLINIMETRIC PROPERTIES," *J Cardiopulm Rehabil Prev*, vol. 39, no. 1, pp. 2–8, 2019, doi: 10.1097/HCR.0000000000000336.
- [136]P. H. S. Figueiredo *et al.*, "The reliability and validity of the 30-seconds sit-to-stand test and its capacity for assessment of the functional status of hemodialysis patients," *J Bodyw Mov Ther*, vol. 27, pp. 157–164, 2021, doi: 10.1016/j.jbmt.2021.02.020.
- [137]A. Pérez-Castilla, I. Jukic, D. Janicijevic, Z. Akyildiz, D. Senturk, and A. García-Ramos, "Load-Velocity Relationship Variables to Assess the Maximal Neuromuscular Capacities During the Back-Squat Exercise," *Sports Health*, vol. 14, no. 6, pp. 885–893, Nov. 2022, doi: 10.1177/19417381211064603.
- [138]A. Pérez-Castilla, M. E. L. Quidel-Catrilebún, M. A. Rodríguez-Pérez, and A. García-Ramos, "Association of the load-velocity relationship variables with 2000-m rowing ergometer performance," *Eur J Sport Sci*, 2022, doi: 10.1080/17461391.2022.2054364.
- [139]A. Piche Elodie *et al.*, "Title of the paper Validity of a simple sit-to-stand method for assessing force-velocity profile in older adults. Corresponding author's informations," 2021.

- [140] A. J. Morales-Artacho *et al.*, "Associations of the Force-velocity Profile with Isometric Strength and Neuromuscular Factors," *Int J Sports Med*, vol. 39, no. 13, pp. 984–994, 2018, doi: 10.1055/a-0644-3742.
- [141] R. L. Lieber and J. Fridén, "Functional and Clinical Significance," *Muscle Nerve*, vol. 23, no. November, pp. 1647–1666, 2000.