

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

Departamento de Educación y Deporte

Tesis doctoral

Hipertrofia regional: Análisis de posibles causas y tendencias

Presentado por

Aitor Zabaleta Korta

Directores

Jordan Santos Concejero & Eneko Fernández Peña

Vitoria-Gasteiz, 2023

(c) 2023 Aitor Zabaleta Korta

AGRADECIMIENTOS

Katedrala

Behin batean negozio gizon bat meategi batera joan zen. Bertan inbertitu nahi zuenez, meategia kudeatzen zuen enpresaren gora-beherak ezagutu nahi zituen inbertitzeko erabakia hartu aurretik. Jabea eta zuzendariekin bildu ostean, meategian barrena joan zen langileen jarduna eta ezinegonak ezagutzeko. ¿Ba al da modu hoberik negozio baten egoera ezagutzeko bere langileek azken honi buruzko iritziak ezagutzea baino? Atentzioa ez deitzeko, modu sinplean jantzita joan zen, ez zuen bere itxurak langileen erantzunean eragiterik nahi.

Meategian barrena zihoala, langile talde bati so egin zion: orokorrean lanpetuta ziruditen, hara ta hona gauzak mugituz, paperei begira, makinak maneiatzten... Lanean, baina nolabait goibel ziruditen. Batengana gerturatu zen eta zera galdetu zion:

+Kaixo, zertan ari zara?

-Ba hementxe, lanean, badakizu.

+Gustura al zaude?

Farre egin zuen

-Ba al da inor gustura lan egiten duenik? Harria zulatzea oso gogorra da, bizitzeko lan egin beharra dago, baina ahal izanez gero, etxean geratzea nahiago nuke.

Erantzunak apur bat atsekabetu zuen negozio gizona, baina badaezpada ere beste langile batengana hurbildu zen eta hark zuzenean hurrengoia oihukatu zion:

-Nazkatuta nago lanarekin!

Bota zion langileak, eta hasperen egin ostean honakoa esan zion:

-Bai motel, bizkarreko minak jota nago eta gainera bihar proiektu berri bat hasi behar dugula entzun dut. Nagusiarekin hitz egin beharra dugu, hau horrela jarraituz gero greba egin beharko dugu eta.

Hau ez zitzaion batere gustatu negozio gizonari. Langileak ez zeuden gustura, beharbada enpresa ez zen zuzen jokatzen ari beraiekin, edo beharbada ez zen enpresa produktiboa. Hala nola ere ez zirudien aukera ona meategi honetan inbertitzeak, langileekin arazoek beti galerak dakartzatela pentsatu baitzuen. Irteera bidean zihoala, langile gazte batekin egin zuen topo, pikotxa hartuta harri bat zulatzen ari zena. Lasai zirudien, bakean. Bi aldiz pentsatu gabe, negozio gizonak galdera irekia bota zion, langilearen erreakzioaren bila:

-Ta, zu, zer ari zara?

Langileak irribarre egin zion.

-Ni? Katedral bat eraikitzen ari naiz.

Istorio honek ondo erakusten du zein izan den nire doktoretzaren bilakaera. Lan luzea eta gogorra izan da, oso gorabeheratsua. Aurrera pauso bakoitzeko mila arazo berri zeuden eta doktore-gai guztioi pasatzen zaigun moduan, neuk bakarrik egin behar izan diet aurre. Nire doktoretza prozesuan zehar enpresa munduan egin dut lan, eta bi negozio aurrera atera ditut.

Oso garai gogorra izan da niretzat, eta aste bukaerak etxean igarotzen nituenean, lagunak oporretan joan eta ni lanean geratzen nintzenean, hasiera batean tristurak bereganatzen ninduen. Kexu egin nahi nuen nire egoeratik. Garai hartan oraindik asko falta zitzaidan doktoretza amaitzeko, eta negozio ororen hasieran gertatzen den moduan, ez nuen diru askorik.

Gustuko nituen gauza asko alde batera uzten ari nintzen, eta inongo emaitzarik emango zidan ziurtasunik ez nuen heinean ea honek denak merezi zuen galdetzen nion nire buruari. Baina galdera horrek berak ilusioz ekin arazten zidan ondoren.

Harria zulatzen ari naizen heinean katedrala eraikitzen ari naiz, beraz, ez naiz soilik harria zulatzen ari, katedrala sortzen baizik.

Gaur nire katedrala aurkezten dizuet. Ez da katedralik ederrena, eta handiena denik ere ezin da esan. Baina nirea da. Pikotxa utzi ez dudanaren seinale, borroka egitea erabaki izatearen ondorio. Eta gaur, katedrala eraikitze bidea erakutsi didaten pertsona guztiei

dedikatu nahi diet nire katedrala: nire gurasoei eta Patricia-ri beti hor daudelako, eta nire tesiko zuzendari diren Jordan eta Enekorri, egiaren eta jakituriaren bide nahasietan aurrera egiten irakasteagatik.

Gainera lan hau nire osabari dedikatu nahi diot, kantzerrak jota hil zen 2020-an, errege egun batez, baina zorigaiztoko egoeren aurrean gogor eusten zekien horietakoa zen. Ezin zuen ohetik jaiki, eta hitz egitea asko kostatzen zitzaion, baina Errege Magoen bisita edukita Ospitalean, ez zuen argazkia ateratzeko aukerarik galdu.

Amaiera arte ez zenion katedrala eraikitzeari utzi osaba, eta zure borrokan zehar eduki zuen jarrerak asko inspiratu nau prozesu honetan.

Declaración

El autor de esta tesis doctoral ha participado en todo el proceso de investigación, desde el diseño hasta el producto final en forma de publicaciones y contribuciones en congresos. Para ello, ha revisado la bibliografía existente, participado en el diseño de las intervenciones y en su puesta en práctica, así como en las distintas valoraciones y en la obtención y análisis de datos, y ha tratado de hacer una buena discusión tras haber interpretado los resultados en profundidad. Por otro lado, ha sido responsable, junto con los directores de la tesis doctoral, del proceso de divulgación en forma de publicación de artículos en revistas científicas.

Este trabajo no podría haberse llevado a cabo sin la supervisión de los directores del mismo, quienes han sido parte activa durante todo el proceso, y ha contado con la participación de colaboradores externos que han ayudado en el diseño de los estudios y en la revisión de los manuscritos.

La investigación se ha llevado a cabo en instalaciones y con recursos de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU, Facultad de Educación y Deporte (Sección Ciencias de la Actividad Física y del Deporte) y del Departamento de Educación Física y Deportiva de la UPV/EHU y en aquellas de la facultad de medicina, enfermería y fisioterapia de la UPV/EHU.

No ha existido conflicto de interés alguno a la hora de realizar esta investigación.

Abreviaciones

1RM: 1 Repetición Máxima

ACSA: Anatomical Cross-Sectional Area / Área de sección transversal anatómica

CI: Confidence Interval / Intervalo de Confianza

DEXA: Dual Energy X-ray Absorptiometry / Absorciometría de rayos X de energía Dual

EFOV: Extended Field of View / Campo de vision extendido

EMG: Electromiografía

FAK: Focal Adhesion Kinases / Kinasas de adhesión Focal

HR: Hipertrofia Regional

iEMG: Electromiografía intramuscular

INC: Grupo que realizó *inclined curl*

ICC: Intraclass correlation coefficient / Coeficiente de correlación intraclase

LEG: Grupo que realizó *leg extensión*

MRI: Magnetic Resonance Imaging / Resonancia magnética

MT: Muscle thickness / *f* muscular

MVIC: Maximum Voluntary Isometric contraction / Contracción Voluntaria Isométrica Máxima

PCSA: Physiological Cross-Sectional Area / Área de Sección Transversal Fisiológica

PREA: Grupo que realizó *preacher curl*

RF: Rectus Femoris / Recto Femoral

RFD: Rate of Force Development /
Ratio de Desarrollo de la fuerza

RoM: Range of Motion / Rango de
Movimiento

sEMG: Electromiografía de superficie

SMTH: Grupo que realizó sentadillas en
máquina Smith

TC: Tomografía Computerizada

TUT: Time Under Tension / Tiempo
bajo tensión

VI: Vasto Intermedio

VM: Vasto medial

VML: Vasto Medial Largo

VMO: Vasto Medial Oblicuo

VL: Vasto Lateral

US: Ultra Sonidos

Contribuciones científicas

Publicaciones con revisión por pares en revistas científicas

Estudio 1: Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., & Santos-Concejero, J. (2020). Regional Hypertrophy, the Inhomogeneous Muscle Growth. *Strength & Conditioning Journal*, 42(5), 94–101. <https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000574>

Indicador de calidad: ISI-JCR IF 2.49. 55/88. SPORT SCIENCES 2022 (Q3)

Estudio 2: Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., Torres-Unda, J., Garbisu-Hualde, A., & Santos-Concejero, J. (2021). The role of exercise selection in regional Muscle Hypertrophy: A randomized controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 20(39), 2298–2304. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1929736>

Indicador de calidad: ISI-JCR IF 3.943. 26/88. SPORT SCIENCES 2022 (Q2)

Estudio 3: Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., Torres-unda, J., Francés, M., Zubillaga, A., & Santos-Concejero, J. (2023). Regional Hypertrophy : The Effect of Exercises at Long and Short Muscle Lengths in Recreationally Trained Women. *Journal of Human Kinetics, Ahead of p.* <https://doi.org/10.5114/jhk/163561>

Indicador de calidad: ISI-JCR IF 2.923. 43/88. SPORT SCIENCES 2022 (Q2)

Comunicaciones en congresos

Presentación de póster

The influence of resistance profiles on regional hypertrophy in women

XVII annual congress of the European college of sports science (Sevilla, Spain)

Desde el 30/08 hasta el 2/09

Otras contribuciones

Carta al editor: **Zabaleta-Korta, A.**, Fernández-Peña, E., Torres-Unda, J., Garbisu-Hualde, A., & Santos-Concejero, J. (2022). Response to: Letter to the editor concerning the article “The role of exercise selection in regional muscle hypertrophy: A randomized controlled trial” by Zabaleta-Korta et al. (2021). *Journal of Sports Sciences*, 40(10), 1158–1159.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2052596>

Autoría de libro: **Zabaleta-Korta, A.**, & Baz-Valle, E. (2020). *Manual de Selección de ejercicios* (Audiofit (ed.); 3rd ed.)

Autoría de libro: **Zabaleta-Korta, A.** (2022). *Progresar con pesas* (E. Transverso (ed.); 1st ed.).

Revisor de un artículo científico para la Journal of Strength and Conditioning Research.

Invitado por el editor Brad J. Schoenfeld

Exposición oral en Universidad Camilo José Cela (2019): *Hipertrofia regional del músculo esquelético*

Exposición oral en Universidad Atlántico Santander (2022): *Nuevas tendencias en Wellness y Fitness*

Exposición oral en Universidad de Vigo (2022): *Hipertrofia regional del músculo esquelético*

Índice

Resumen	33
Abstract.....	39
Capítulo 1	45
Capítulo 1.1:	47
1.1.1 Entrenamiento de pesas y entrenamiento para ganar masa muscular.....	49
1.1.2 Hipertrofia: su historia y auge	50
1.1.3 Ganancia de masa muscular y salud.....	54
1.1.4 Ganancia de masa muscular y rendimiento deportivo.....	56
1.1.5 Incógnitas en torno a la hipertrofia muscular	57
Capítulo 1.2:	60
1.2.1 ¿Qué es la hipertrofia?.....	60
1.2.2 Tipos de hipertrofia	62
1.2.3 ¿Qué es la hipertrofia regional?.....	68
1.2.4 Métodos de medición de hipertrofia	72
1.2.4 Tipos de mediciones	76
1.2.6 Posibles causas de la hipertrofia regional.....	80
1.2.7 ¿Qué es lo que sabemos y qué nos queda por saber de la hipertrofia regional?.....	90
Capítulo 1.3:	105
1.3.1 Objetivos generales.....	105
1.3.3 Hipótesis	107
Capítulo 1.4:	111

5.1 Artículo 1	111
5.2 Artículo 2	121
5.3 Artículo 3	135
Capítulo 1.5:	145
Capítulo 2:	173
2.1 Conclusiones.....	175
2.2 Limitaciones y propuestas de futuro.....	176
2.3 ¿Y ahora, qué?	177
Capítulo 3:	179
Contribuciones científicas	181
Estudio 1	183
Estudio 2.....	193
Estudio 3.....	203
Carta al editor	217
Comunicación en congreso internacional	223
Otras contribuciones	227
Coautoría de un libro.....	227
Autoría de un libro	229
Revisor de un artículo	231
Divulgación	233
Exposición oral 1.....	235
Exposición oral 2.....	239
Exposición oral 3.....	243
Informe aprobado del comité de ética de la UPV/EHU	247

Índice de Tablas

Tabla 1: Todos los estudios en los que se ha visto hipertrofia regional tras un período de entrenamiento llevados a cabo hasta la fecha.	92
Tabla 2: Tabla que resume puntos de la escalal PEDro (primeras 8 columnas) y nivel de evidencia en la escala Oxford (Primera columna desde la derecha) Evidencia que indica la existencia de hipertrofia regional.	113
Tabla 3: Estudios incluidos, número de sujetos, edad promedio de los sujetos, experiencia de los sujetos y desenlace principal del estudio.	115
Tabla 5: ACSA PRE y ACSA POST en ambos músculos y grupos por regiones.	123
Tabla 6: MT antes (PRE) y después (POST) por regiones y grupos (en cm).	136

Índice de Figuras

Figura 1: Curva Kaplan-Meyer asociando el cuartil de cantidad de masa muscular con la probabilidad de supervivencia. Puntos de corte para dividir los cuartiles: 6,2; 6,9 y 7,6 kg/m ² en mujeres y 9,2; 10,0 y 10,8 kg/m ² en hombres (Srikanthan & Karlamangla, 2014).	48
Figura 2: El culturista Dorian Yates posa junto a la estatuilla de Eugen Sandow, el trofeo que se le otorga al campeón del Mr. Olympia. Fuente: Facebook.....	51
Figura 3:Eugen Sandow. (Fuente: BBC News).....	52
Figura 4: Porcentaje de personas que acudieron a un gimnasio entre 1996 y 2021, de la web www.statista.com	54
Figura 5: Pirámide de la población empadronada en España (INE, 2021)(INE, 2021)..	55
Figura 6: Modelo antiguo (arriba) y nuevo (abajo) para explicar la hipertrofia muscular, por Figueiredo (2019) (Figueiredo, 2019).....	62
Figura 7:Ejemplo de "hipertrofia sarcoplasmática" (Segunda imagen por la izquierda) e "hipertrofia sarcomérica/miofibrilar" (tercera imagen desde la izquierda) (Roberts et al., 2020).	63
Figura 8:Imagen de la longitud de fascículo (fascicle length) y ángulo de pennación (Pennation angle) del músculo soleo, por Fukutani (2017) (Fukutani et al., 2017).....	64
Figura 9: Ejemplo del ACSA del VL por Franchi (2014)(Franchi et al., 2014a).	66
Figura 10: Aumento de ACSA en diferentes zonas del tríceps braquial en el grupo que entrenó 12 semanas (gráfico de arriba, puntos blancos antes de la intervención, puntos negros después del entrenamiento) y el grupo control (gráfico de abajo) por Wakahara (2012) (Wakahara et al., 2012).....	66

Figura 11: Comportamiento de fibras ante el aumento de tamaño del músculo si incrementa la longitud de fascículo (izquierda) o el ángulo de pennación (derecha) (Franchi et al., 2017).	68
Figura 12: Imagen que representa las 3 regiones cuyo crecimiento se analizó en el estudio de Matta y colaboradores (2011) (T. Matta et al., 2011).	69
Figura 13: El ejercicio leg extension (la flecha señala la cabeza del cuádriceps que este ejercicio trabaja de manera prioritaria, el RFL) (Fuente: Adobe stock).	70
Figura 14: Crecimiento de la región a 50% de la distancia entre acromion y epicóndilo lateral de los flexores de brazo, al inicio (izquierda) y 9 semanas después (derecha) (Elaboración propia).	71
Figura 15: Imagen de MRI para medir la hipertrofia regional de los extensores de codo antes (arriba) y después (abajo) de 12 semanas de entrenamiento (Wakahara et al., 2012).	73
Figura 16: Una imagen del cuádriceps femoral tomada con ultrasonidos (imágenes de nuestro laboratorio).	74
Figura 17: Medición del tamaño del músculo mediante cinta métrica, utilizado en algunos estudios (Staniszewski et al., 2020) (Imagen de nuestro laboratorio).	76
Figura 18: Línea paralela ACSA y línea oblicua el PCSA de músculos y Unipeniformes (A) y bipeniformes (B). (Fuente: Progresas con pesas (Zabaleta-Korta, 2022)).	79
Figura 19: Ejercicio leg extensión (Fuente: Progresas con pesas (Zabaleta-Korta, 2022)).	81
Figura 20: Perfil fuerza-velocidad del libro "Progresas con pesas" (Zabaleta-Korta, 2022).	83
Figura 21: Inclined curl (arriba) y preacher curl (abajo). A es el inicio de cada ejercicio y B marca el final. C representa la resistencia del ejercicio en base a su brazo de momento	

externo (Loss & Candotti, 2008) Fuente: Zabaleta-Korta y colaboradores 2023 (Zabaleta-Korta et al., 2023).....	86
Figura 22: Imágenes del tejido conectivo intra-muscular por Purslow (2002) (Purslow, 2002).	88
Figura 23: Crecimiento del tríceps de zona distal (izquierda) a proximal (derecha). # Indica un valor significativamente distinto al medido antes del inicio de la intervención (Fuente: Wakahara 2011).....	99
Figura 24: Algunos reportes como este de Blemker (2005) (Blemker et al., 2005) basado en un modelo matemático, sugieren que las fuerzas no se distribuyen de igual manera dentro del músculo, lo que podría demostrar que existen "compartimentos" musculares que otros modelos animales ya reportan (Brainerd & Azizi, 2005) (Fuente: Blemker 2005).	101
Figura 25: Objetivos de cada estudio y su diseño (Elaboración propia).....	107
Figura 26: Diagrama de Flujo que muestra el proceso de selección de los artículos incluidos en la revisión sistemática.	112
Figura 27: Imagen de VMO y VML según Castanov (2019) (Castanov et al., 2019)..	116
Figura 28: Modelo usado para medir la tensión en diferentes regiones de músculos de aves (Fuente: Carr 2011).....	126
Figura 29: Crecimiento del RF en las 3 regiones. *Indica crecimiento; *** Indica crecimiento superior al otro grupo (Imagen de Zabaleta-Korta y colaboradores (2021)).	129
Figura 30: Crecimiento del VL en las 3 regiones. *Indica crecimiento; *** Indica crecimiento superior al otro grupo (Imagen de Zabaleta-Korta y colaboradores (2021)).	129
Figura 31: Imagen de cómo medimos el ACSA en nuestro estudio.	131

Figura 32: Medición del MT mediante el uso de la técnica EFOV(Marušič et al., 2020).
Al permitir un campo de visión mucho más amplio, es muy útil para medir el ACSA (Imagen de Marušič y colaboradores (2020)).....131

Figura 33: Crecimiento del músculo por regiones en el grupo INC y PREA (Imagen de Zabaleta-Korta y colaboradores (2023)).136

Figura 34: Imagen que muestra el funcionamiento del EMG de alta densidad (Marušič et al., 2020).139

Resumen

La hipertrofia regional del músculo esquelético es un fenómeno desconocido en su mayor medida debido a que no es considerado como algo relevante para las dos grandes áreas en las que se halla involucrada la mayoría de grupos de investigación en las ciencias del deporte: la salud o el rendimiento deportivo. Sin embargo, hallazgos recientes en trabajos que pertenecen a esta tesis doctoral y otros de investigadores ajenos parecen mostrar su relevancia para diversas aplicaciones en rendimiento y salud.

Por esta razón, decidí realizar mi tesis doctoral en esta área, con 3 objetivos que se han utilizado como hoja de ruta para llevar a cabo los 3 estudios que lo componen:

- Estudio 1: Determinar si la hipertrofia regional del músculo existe, y en caso de ser así explorar las vías que pudiesen explicarla en la evidencia científica existente
- Estudio 2: Analizar si la selección de ejercicios tiene influencia en la hipertrofia regional
- Estudio 3: Evaluar si el tipo de resistencia tiene efecto en la hipertrofia regional

En el primer estudio sólo se tuvieron en cuenta estudios de la más alta calidad, utilizando para ello los siguientes criterios de inclusión: 1) En sujetos jóvenes y sanos, 2) Medido

mediante MRI, 3) Un mínimo de 6 semanas de intervención, 4) Al menos una medición de 2 regiones en el músculo. La búsqueda se realizó en los buscadores PubMed y Scopus y las palabras clave usadas en la búsqueda fueron: *hypertrophy*, *CSA*, *cross-sectional area*, *MRI*, *muscle architecture*, *nonuniform muscle growth* y los operadores booleanos *AND* y *OR*. Sólo se aceptaron artículos redactados en inglés.

Esta búsqueda dio como resultado 21 estudios a los que se sumaron otros 17 mirando en las referencias de estos. Del análisis de los 38 estudios incluidos en esta revisión podemos inferir que la hipertrofia regional se produce tanto dentro de las diferentes regiones de una misma cabeza muscular como entre cabezas que conforman un mismo músculo. Además se identificaron algunas vías que podrían estar causando la hipertrofia regional. Estos hallazgos nos llevaron al diseño del segundo estudio en el que el objetivo era ver el efecto de dos ejercicios distintos en la hipertrofia regional del músculo cuádriceps. Elegimos el músculo cuádriceps porque es el más estudiado en esta área (26 artículos de los 45 que se han publicado en toda la historia sobre hipertrofia regional analizan este músculo).

Para ello, dividimos en 2 grupos a los sujetos. El primer grupo realizó sentadillas en maquina Smith y el segundo grupo realizó el ejercicio *leg extension*. Ambos grupos debían realizar el mismo número de series y repeticiones, y se les prohibió realizar otros ejercicios de cuádriceps con objetivo de ganar masa muscular. Se estandarizó el protocolo de calentamiento y tanto las mediciones antes del entrenamiento como las que se realizaron después del entrenamiento se realizaron a la misma hora para evitar fluctuaciones horarias en la hidratación que pudiesen influir en las mediciones del tamaño

muscular. Medimos el área de las cabezas musculares del cuádriceps mediante ultrasonidos. Se analizaron 3 regiones de 3 músculos: el 25%, 50% y 75% de la longitud de fémur (considerando 25% la zona más próxima a la cadera y 75% la zona más próxima a la rodilla) en los músculos RF, VL y VM.

Aunque la muestra de este estudio fue bastante reducida (N=27) en parte debido al alto ratio de abandono (20%) causado por la pandemia del SARS-COVID19 que obligó a los gobiernos regionales a tomar medidas durante el final del año 2020 y principios del 2021 y la duración del estudio se acortó 3 semanas debido a las medidas mencionadas (en un principio iba a durar 8 y terminó durando 5), el estudio probó que la selección de ejercicios influía en la hipertrofia regional que sigue a un período de entrenamiento.

En particular, el *leg extension* hizo que el RF creciera en sus regiones 25%, 50% y 75% mientras que no se observó ningún crecimiento en el VL en el grupo que realizó este ejercicio. En cambio la sentadilla en máquina smith hizo que el VL creciera en su zona 50% mientras que no se observaba crecimiento por parte del RF.

Este resultado nos llevó al diseño del siguiente estudio: donde se comparó el crecimiento del músculo bíceps braquial tras realizar dos ejercicios que implicaban hacer el mismo gesto en prácticamente los mismo grados, pero con una resistencia opuesta. Uno de los grupos realizó el *preacher curl*, que tiene una resistencia muy elevada al principio y muy baja al final. El otro grupo realizaba un *inclined curl*: un ejercicio con una resistencia muy baja al principio y muy alta al final. Este estudio duró 9 semanas y se realizó en mujeres. El número de series y repeticiones fue idéntico al del anterior estudio, pero se permitió realizar ejercicios de tren superior que no involucraran directa o indirectamente al bíceps,

al contrario del anterior estudio. Se compararon tanto el crecimiento de las regiones antes y después de la intervención dentro de cada grupo como el crecimiento de las regiones entre grupos. Se analizaron la región de 50%, 60% y 70% de longitud de húmero, siendo el 70% la región más próxima al codo. El crecimiento se midió como MT usando ultrasonidos.

Los resultados muestran que la región que crecía era la distal (70%) en el grupo que realizó *preacher curl*. No se observó crecimiento en el grupo que realizó curl inclinado y tampoco se vieron diferencias al comparar el crecimiento entre grupos o regiones.

Este estudio confirma que la resistencia de un ejercicio es la razón por la cual la selección de ejercicios influye en la hipertrofia regional de un músculo, y por ende un mismo ejercicio con diferente resistencia puede provocar diferente hipertrofia regional.

Las conclusiones de esta tesis son las siguientes:

- La hipertrofia regional se da en la inmensa mayoría de estudios que pretenden hallarla
- La selección de ejercicios parece influir en gran medida sobre la hipertrofia regional
- La influencia de la selección de ejercicios probablemente se deba a la resistencia que ofrecen los ejercicios en puntos concretos del rango de movimiento de una articulación

Desconocemos el efecto de factores que no controlamos como la genética o la experiencia sobre la hipertrofia regional, o por ejemplo el hecho de que el crecimiento se deba al crecimiento de un componente concreto del músculo como el sarcoplasma.

Abstract

Regional skeletal muscle hypertrophy is a largely unknown phenomenon, mainly because it is not considered relevant to the two major areas that most research groups in the sports sciences focus on: health and athletic performance. However, recent findings from studies within this doctoral thesis and those conducted by external researchers seem to demonstrate its relevance for various applications in performance and health.

For this reason, I decided to conduct my doctoral thesis in this area, with three objectives that served as a roadmap for the three studies comprising it:

Study 1: Determine if regional muscle hypertrophy exists and, if so, explore the potential pathways that could explain it based on existing scientific evidence.

Study 2: Analyze if exercise selection influences regional hypertrophy.

Study 3: Evaluate if the type of resistance affects regional hypertrophy.

In the first study, only studies of the highest quality were considered, using the following inclusion criteria: 1) Young and healthy subjects, 2) Measured through MRI, 3) Minimum intervention duration of 6 weeks, 4) At least one measurement of 2 muscle regions. The search was conducted in PubMed and Scopus databases, using keywords such as hypertrophy, CSA, cross-sectional area, MRI, muscle architecture, nonuniform muscle growth, and Boolean operators AND and OR. Only articles written in English were accepted.

This search yielded 21 studies, and an additional 17 studies were identified through references. From the analysis of the 38 studies included in this review, it can be inferred that regional hypertrophy occurs within different regions of the same muscle head as well as between heads that make up the same muscle. Additionally, certain pathways that could be causing regional hypertrophy were identified.

These findings led to the design of the second study, which aimed to examine the effect of two different exercises on regional muscle hypertrophy in the quadriceps. We chose the quadriceps because it is the most studied muscle in this area (26 out of 45 articles published throughout history on regional hypertrophy analyze this muscle).

For this purpose, the subjects were divided into two groups. The first group performed squats on a Smith machine, while the second group performed leg extensions. Both groups performed the same number of sets and repetitions, and they were prohibited from performing other quadriceps exercises with the aim of gaining muscle mass. The warm-up protocol was standardized, and measurements were taken before and after training at the same time to avoid variations in hydration that could influence muscle size measurements. The muscle head area of the quadriceps was measured using ultrasound. Three regions of three muscles were analyzed: 25%, 50%, and 75% of the femur length (considering 25% as the region closest to the hip and 75% as the region closest to the knee) in the RF, VL, and VM muscles.

Although the sample size of this study was relatively small (N=27) partly due to a high dropout rate (20%) caused by the SARS-COVID19 pandemic, which led regional

governments to implement measures during the late 2020 and early 2021, and the study duration was shortened by 3 weeks due to these measures (initially planned for 8 weeks but ended up lasting 5 weeks), the study demonstrated that exercise selection influenced regional hypertrophy following a training period.

Specifically, leg extensions resulted in growth in the RF at the 25%, 50%, and 75% regions, while no growth was observed in the VL in the group that performed this exercise. On the other hand, squats on a Smith machine resulted in growth in the VL at the 50% region, with no growth observed in the RF.

These results led to the design of the next study, which compared the growth of the biceps brachii muscle following two exercises involving the same movement pattern and similar RoM but with opposing resistance. One group performed preacher curls, which had high resistance at the beginning and low resistance at the end, while the other group performed inclined curls: an exercise with low resistance at the beginning and high resistance at the end. This study lasted 9 weeks and involved female participants. The number of sets and repetitions was identical to the previous study, but upper body exercises that did not directly or indirectly involve the biceps were allowed, unlike the previous study. Both the growth within each group's regions before and after the intervention and the growth between groups' regions were compared. The 50%, 60%, and 70% regions of the humerus length were analyzed, with 70% representing the region closest to the elbow. Growth was measured using ultrasound and reported as muscle thickness (MT).

The results showed that the distal region (70%) experienced growth in the group that performed preacher curls. No growth was observed in the group that performed inclined

curls, and no differences were observed when comparing growth between groups or regions.

This study confirms that the resistance of an exercise is the reason why exercise selection influences regional muscle hypertrophy, and therefore, the same exercise with different resistance can result in different regional hypertrophy.

The conclusions of this thesis are as follows:

Regional hypertrophy occurs in the vast majority of studies aiming to identify it.

Exercise selection seems to have a significant influence on regional hypertrophy.

The influence of exercise selection is likely due to the resistance provided by exercises at specific points within the range of motion of a joint.

We are unaware of the effect of uncontrolled factors such as genetics or experience on regional hypertrophy, or whether the growth is specific to a particular component of the muscle, such as the sarcoplasm.

Sección 1

SÍNTESIS

“Es una desgracia para el hombre envejecer sin nunca ver la belleza y la fuerza de la que su cuerpo es capaz” (Sócrates)



Sección 1.1:

Introducción

“La duda es el origen de la sabiduría” (Descartes)

En los últimos 10 años se ha observado un notable aumento de literatura hablando sobre ciencias del ejercicio, y con él se ha observado un aumento de trabajos que hablan del incremento de la masa muscular y su efecto en diversos aspectos de la vida de los seres humanos. De hecho, se estipula que se han publicado más estudios sobre ciencias del deporte desde 2010 hasta 2020 que en los 65 años anteriores (1945-2009) (Maneiro et al., 2022). El efecto de la ganancia de la masa muscular en la salud y en el rendimiento deportivo es un área que ha suscitado especial interés en el marco de este auge (Hornsby et al., 2018; Sartori et al., 2021). Desde la influencia del entrenamiento para ganar masa muscular en estados de depresión (Gordon et al., 2018), pasando por su relevancia de la cantidad masa muscular en la prevención y readaptación de una lesión (Wall et al., 2015), hasta llegar al impacto de la cantidad de masa muscular en la calidad (R.A. et al., 2014) y esperanza de vida (Srikanthan & Karlamangla, 2014).

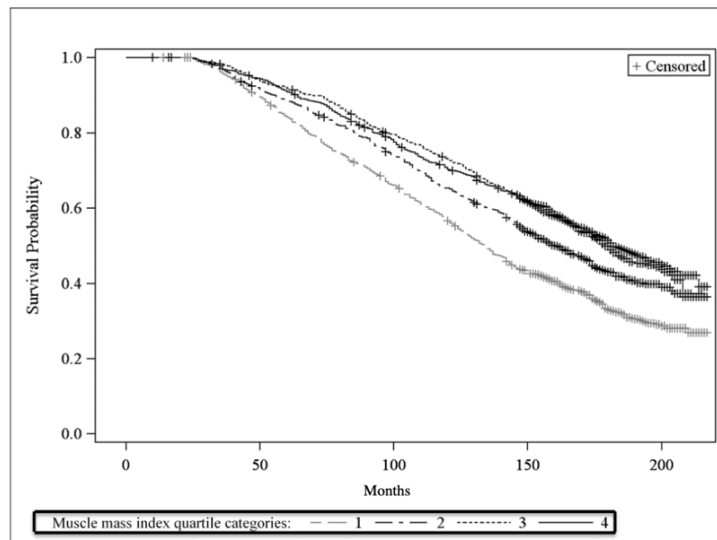


Figura 1: Curva Kaplan-Meier asociando el cuartil de cantidad de masa muscular con la probabilidad de supervivencia. Puntos de corte para dividir los cuartiles: 6,2; 6,9 y 7,6 kg/m^2 en mujeres y 9,2; 10,0 y 10,8 kg/m^2 en hombres (Srikanthan & Karlamangla, 2014).

Aunque menos relevantes para el grueso de la población, las investigaciones del impacto de la ganancia de la masa muscular en el rendimiento deportivo también han sido considerables. Prueba de ello es la relación de la cantidad de masa muscular con varios parámetros del rendimiento deportivo como el RFD (Kavvoura et al., 2018), la altura de salto (Ribeiro et al., 2015) o la fuerza (Trezise et al., 2016).

Debido al gran impacto de la cantidad de masa muscular en la salud y el rendimiento deportivo, la investigación sobre cómo desarrollarla es clave para establecer guías clínicas que los profesionales y usuarios puedan utilizar para desarrollar masa muscular de forma segura y eficiente.

1.1.1 Entrenamiento de pesas y entrenamiento para ganar masa muscular

Para el propósito de esta tesis doctoral, consideraremos que todo “entrenamiento con cargas”, o “entrenamiento de pesas”, es entrenamiento para ganar masa muscular. Aunque hay evidencia científica de sobra para afirmar que el entrenamiento para producir las ganancias de masa muscular máximas debe tener determinadas características (Baz-Valle et al., 2021; B. Schoenfeld et al., 2021), y que puede darse el caso de que tras entrenar pesas se gane fuerza pero no masa muscular (Loenneke, Dankel, et al., 2019; B. Schoenfeld et al., 2021), en la inmensa mayoría de ocasiones en las que personas sin experiencia previa han realizado entrenamientos con cargas han ganado masa muscular (Loenneke, Buckner, et al., 2019; Loenneke, Dankel, et al., 2019). De hecho, algunos autores de referencia han llegado a afirmar que la ganancia de masa muscular es un “mal necesario” cuando alguien pretende ganar fuerza o potencia haciendo pesas, pero no desea ganar masa muscular (Del Castillo Molina, 2014; Loenneke, Dankel, et al., 2019; Miller & Morehouse, 1971).

La ganancia de masa muscular es un proceso complejo que no podemos “decidir” que ocurra. Debemos entenderla como un proceso adaptativo del cuerpo (Kiely, 2018), que se adapta a un entorno y condiciones concretas y sólo en algunas circunstancias. Por ejemplo, si no existe un superávit calórico, es mucho más difícil desarrollar masa muscular aunque se lleve a cabo un entrenamiento con cargas adecuado (Slater et al., 2019). De la misma forma, sabemos que el entrenamiento con cargas debe realizarse cerca del fallo muscular para que sea efectivo, cosa que no ocurre cuando se realiza como preparación física para algunos deportes (B. Schoenfeld et al., 2021). Algunos sujetos

muestran mucha mayor facilidad para desarrollar masa muscular (Pickering & Kiely, 2019).

Entrenar para ganar masa muscular no consiste únicamente en entrenar de maneras concretas, sino en moldear muchos aspectos relacionados con la vida diaria que permitan las condiciones adecuadas para su desarrollo (Kiely, 2018). Por ello, es osado afirmar que cualquier entrenamiento con cargas sirve para ganar masa muscular. Sin embargo, puesto que el aumento del tamaño del músculo es una respuesta adaptativa común en respuesta al entrenamiento con cargas, y dado que vamos a analizar el aumento de masa muscular en respuesta al entrenamiento con cargas en diferentes poblaciones, consideramos lícito que se utilicen como si fueran lo mismo, aunque definitivamente no lo sean.

1.1.2 Hipertrofia: su historia y auge

Existen deportes de la antigua Grecia que muestran personas que sabían que determinadas actitudes que hacían “sufrir” al cuerpo provocaban cambios en él, entre ellos el aumento del tamaño de los músculos. Muestra de ello es la conocida cita de Sócrates en *Memorabilia*: “Es una desgracia para el hombre envejecer sin nunca ver la belleza y la fuerza de la que su cuerpo es capaz” (Gardiner, 2002). Esta frase nos da a entender que los griegos entendían la capacidad de cambiar la forma del cuerpo mediante acciones concretas.

Pero no es hasta finales del siglo XIX cuando el entrenamiento de fuerza vuelve a estar en auge. Con el desarrollo de las ciudades, empieza a implantarse un estilo de vida sedentario y con él la investigación sobre los efectos del ejercicio en la salud de las

personas (Dutton & Laura, 1989). Esto confluye con el auge de las demostraciones de fuerza, donde personas que destacaban por su fuerza llevaban a cabo ejercicios como levantar o transportar objetos muy pesados (Dutton & Laura, 1989). Y para ello, entrenaban con objetos pesados que eran cómodos y fáciles para levantar, para que el tamaño o forma del objeto no fuera un obstáculo para levantarlo. Aquí nace la idea actual de las mancuernas y barras. En aquellos años, destaca el nombre de Eugene Sandow, un hombre de origen prusiano conocido no solo por sus hazañas de fuerza sino por su aspecto musculado, que lucía en las demostraciones tal y como muestran algunos archivos de la época (Dutton & Laura, 1989).



Figura 2: El culturista Dorian Yates posa junto a la estatuilla de Eugen Sandow, el trofeo que se le otorga al campeón del Mr. Olympia. Fuente: Facebook.

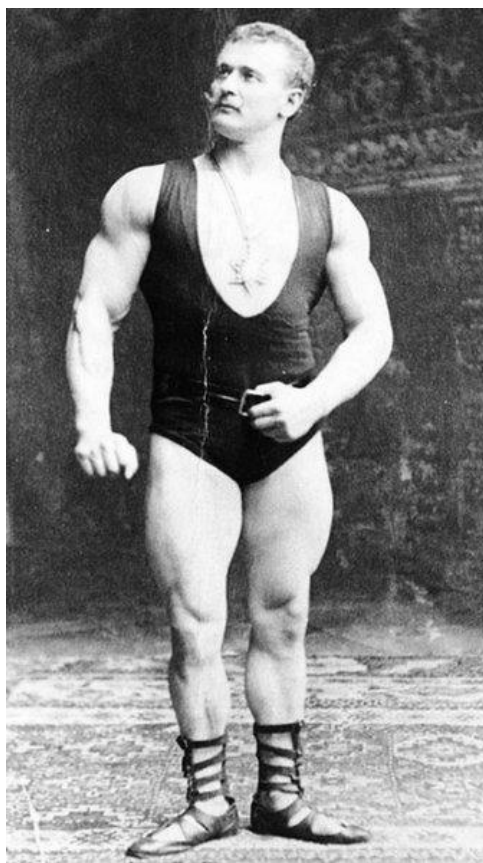


Figura 3: Eugen Sandow. (Fuente: BBC News)

A Sandow se le considera el padre del culturismo moderno, hasta tal punto que el trofeo de la competición de culturismo más importante a nivel mundial, el Mr. Olympia, es una figura de Sandow posando (Dutton & Laura, 1989). De todas formas, a lo largo del siglo XX el culturismo ha moldeado nuestra forma de entender el entrenamiento con cargas. El propósito del culturismo es conseguir una imagen que cumpla con el criterio de jueces, y uno de esos criterios es la cantidad de masa muscular. Por ello muchos culturistas han desarrollado físicos impresionantes, imposibles de alcanzar para la población general. En particular los referentes del culturismo popularizados a partir de 1970 como Arnold Schwarzenegger o Franco Columbu, han hecho que asociemos el entrenamiento con cargas al culturismo o al desarrollo de cantidades extremas de masa muscular.

A finales del siglo XX y principios del siglo XXI la investigación en temas deportivos empieza a aumentar muy notoriamente y es entonces cuando se empieza a conocer la importancia de la ganancia de masa muscular para la salud. Destacan trabajos publicados al amparo de instituciones muy reconocidas como la NSCA, que subrayan la importancia del entrenamiento con cargas para la esperanza y calidad de vida de personas mayores (Fragala et al., 2019).

No es hasta bien adentrado el siglo XXI cuando el entrenamiento con cargas se democratiza y gracias a la investigación y la divulgación en redes sociales los beneficios asociados a ganar masa muscular se conocen por la población general. Antes de la pandemia de 2020, el número de personas que acudieron a gimnasios alcanzó su máximo histórico en España; se estima que un 13,7% de la población acudió a un gimnasio en el año 2019, frente al 7% de 1996 (Desconocido, 2022). Esto demuestra que el sector del fitness está en pleno apogeo. Muestra de ello es también que según el termómetro del ecosistema del deporte en España en 2018 la industria deportiva contribuyó a generar el 3,3% del PIB nacional y gracias a la industria deportiva se generaron casi 414.000 puestos de trabajo (Dutton & Laura, 1989).

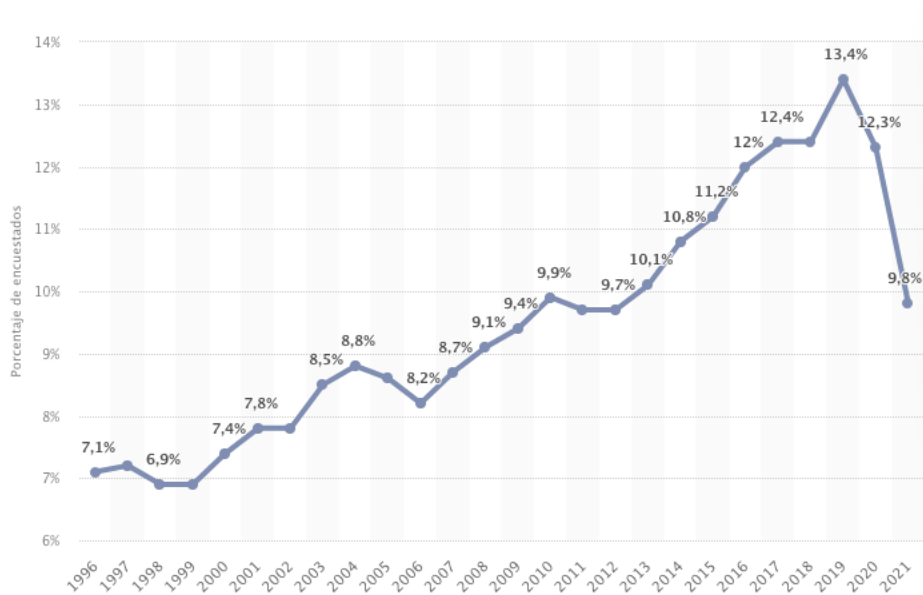


Figura 4: Porcentaje de personas que acudieron a un gimnasio entre 1996 y 2021, de la web www.statista.com.

1.1.3 Ganancia de masa muscular y salud

Desde hace algunos años se empieza a reconocer la importancia de la ganancia de masa muscular para la salud. Aunque se ha estudiado sobre todo en personas mayores y patologías, en un contexto en el que impera el sedentarismo cada vez está más reconocido el rol del músculo en personas de todas las edades y condiciones (Argilés et al., 2016; Kim & Kim, 2020).

La pérdida de masa muscular trae consigo fragilidad y una serie de problemas metabólicos como resistencia a la insulina (Argilés et al., 2016; Kim & Kim, 2020), acumulación de triglicéridos en músculo (Kim & Kim, 2020; Postic & Girard, 2008) e hígado (Kim & Kim, 2020; Postic & Girard, 2008), lo que a su vez trae consigo mayor posibilidad de desarrollar un hígado graso no alcohólico (Hong et al., 2014; Kim & Kim, 2020) e inflamación crónica (Beyer et al., 2012; Kim & Kim, 2020). A esto último

debemos sumarle la relación que existe entre cantidad de masa muscular y la esperanza de vida (Srikanthan & Karlamangla, 2014).

Por ello, la ganancia de masa muscular cobra especial importancia en personas con niveles bajos de músculo. Sabemos que a partir de los 30 años se pierde entre 3-8% de masa muscular cada década (Volpi et al., 2004), en un proceso que se conoce como sarcopenia (Argilés et al., 2016; Volpi et al., 2004). Este se acelera aún más a partir de los 50 años y en particular tras la menopausia en mujeres. Teniendo en cuenta los problemas que puede acarrear tener bajas cantidades de masa muscular, y el envejecimiento de la población en las sociedades occidentales (INE, 2021), la falta de masa muscular amenaza con ser un problema de salud pública en los próximos años.

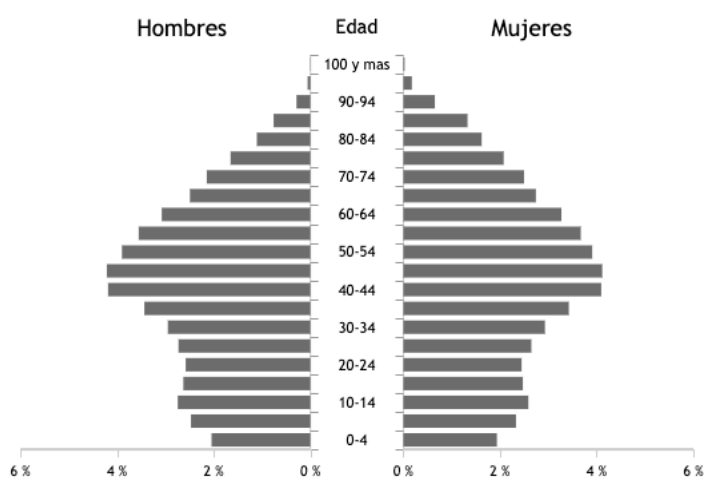


Figura 5: Pirámide de la población empadronada en España (INE, 2021)(INE, 2021).

De todas formas, las personas mayores no son las únicas que pueden beneficiarse de ganar masa muscular. Se sabe que ganar masa muscular puede ser interesante en diversos cuadros psiquiátricos (Gordon et al., 2018; Maurus et al., 2020), en casos de cáncer y en otras enfermedades que pueden conducir a estados de caquexia (Argilés et al., 2016; Hardee et al., 2019), en personas con obesidad (Strasser & Schobersberger, 2011) y

personas con parálisis cerebral (Morton et al., 2005). Incluso hay sobrada evidencia de los beneficios del entrenamiento con cargas en niños (Faigenbaum et al., 2009).

También encontramos reportes de los beneficios de la ganancia de masa muscular en varias lesiones musculoesqueléticas (Bieler et al., 2014; Brumitt & Cuddeford, 2015), y el efecto del entrenamiento con cargas y el ejercicio en general en la reducción del dolor crónico (Wewege et al., 2018). No es poco frecuente escuchar que un aumento excesivo de la masa muscular podría estar asociado a un peor rendimiento deportivo, e incluso se dice que podría ser nocivo para la salud, sin embargo, hasta la fecha esto no tiene sustento científico.

1.1.4 Ganancia de masa muscular y rendimiento deportivo

La aplicación de fuerza de una u otra forma es la piedra angular de todos los deportes. En deportes asociados a levantar cargas, tradicionalmente conocidos como “deportes de fuerza”, la cantidad de masa muscular cobra especial importancia por su relación (aunque en muchos casos esta sea débil) con la fuerza (B. Schoenfeld et al., 2021).

Sin embargo, ganar masa muscular también puede ser importante para el rendimiento en una variedad de deportes. Se han observado mejoras en el rendimiento de deportes de equipo (Santos & Janeira, 2012) y en algunos indicadores de rendimiento de otros deportes, como el RFD (Kavvoura et al., 2018) o la altura de salto (Ribeiro et al., 2015). Por no hablar de la importancia de la ganancia de masa muscular con fines estéticos, tanto recreativos como en un contexto deportivo en el deporte del culturismo.

Si tenemos en consideración todo lo anterior nos percatamos de la relevancia de conocer bien el proceso de aumento de masa muscular, para hacerlo de forma eficiente y que cumpla nuestros propósitos. Aunque existen muchas incógnitas en torno a la ganancia de masa muscular.

1.1.5 Incógnitas en torno a la hipertrofia muscular

Aunque pueda parecer algo uniforme a nivel orgánico, a nivel subcelular y molecular el músculo es complejo e irregular (Wisdom et al., 2015a). Todavía no comprendemos del todo mediante qué mecanismos crece (Wackerhage et al., 2019) ni cómo crece (Wackerhage et al., 2019). Lo que sí sabemos es que este crecimiento no es igual en todas las personas, y que esta diferencia en el crecimiento podría deberse a las diferencias en el estímulo mecánico al que se somete el músculo (Maeo et al., 2021). Esto a su vez podría suponer diferencias funcionales de una persona a otra, y existen varias hipótesis sobre las implicaciones funcionales que tendría el hecho de que el músculo crezca en algunas regiones y no en otras.

Sección 1.2:

Marco teórico

"La ciencia es una forma de pensar mucho más que un conjunto de conocimientos." -

Carl Sagan

La ganancia de masa muscular o hipertrofia del músculo esquelético (de aquí en adelante hipertrofia) es un proceso complejo que todavía no conocemos en detalle (B. Schoenfeld et al., 2021; Wackerhage et al., 2019). Pero por el impacto clínico que podría tener en contextos de salud y deportivos es importante definirla correctamente y conocer de qué formas puede ocurrir antes de pasar a hablar sobre cómo hacer que ocurra en diferentes poblaciones.

1.2.1 ¿Qué es la hipertrofia?

La hipertrofia puede definirse como el aumento del tamaño del área de sección transversal axial de una fibra muscular o de todo el músculo (B. Schoenfeld et al., 2021), y ocurre gracias al aumento de tamaño de las fibras o el tejido pre-existente en el músculo (B. Schoenfeld et al., 2021).

Aunque tradicionalmente se ha creído que había 3 posibles formas de iniciar el crecimiento del músculo: la tensión mecánica, el estrés metabólico y el daño muscular (B. J. Schoenfeld, 2010), la investigación de los últimos años ha demostrado que la tensión mecánica es el principal evento que inicia el proceso de crecimiento de músculo

(Wackerhage et al., 2019). Aunque se cree que el estrés metabólico podría ser otro potencial “gatillo” para la hipertrofia no podemos afirmarlo con la evidencia que tenemos a nuestro alcance hoy en día.

Esto deja en evidencia la importancia que tiene la tensión mecánica en el desarrollo de la masa muscular, y pone de manifiesto una cuestión que abordaremos más adelante: la relevancia del tipo de resistencia que se le impone al músculo y la forma en la que éste genera tensión para hacerle frente.

Aunque podamos poner el foco de la hipertrofia en la tensión mecánica, que es el que lo inicia, como ya hemos mencionado antes la ganancia de masa muscular no depende únicamente del estímulo inicial. En resumidas cuentas este estímulo hace que la síntesis de proteínas musculares aumente más que la degradación de las mismas durante un período de tiempo, y al acumular varios períodos con un balance que favorece la síntesis de proteínas es cuando ocurre la hipertrofia (Damas et al., 2018; Figueiredo, 2019) .

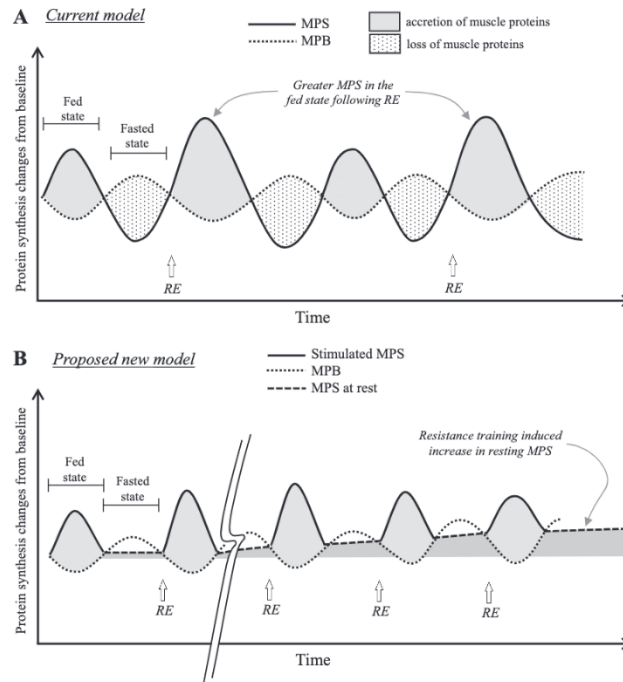


Figura 6: Modelo antiguo (arriba) y nuevo (abajo) para explicar la hipertrofia muscular, por Figueiredo (2019)
(Figueiredo, 2019).

1.2.2 Tipos de hipertrofia

Aunque la hipertrofia se defina como un aumento del área de sección transversal, realmente hay muchas formas de que la masa muscular aumente de tamaño. Veamos las más relevantes para el contexto de esta tesis doctoral.

A pesar de que tenemos herramientas para medir el aumento del tamaño del músculo (Franchi, Raiteri, et al., 2018), las herramientas disponibles actualmente no nos permiten discernir de qué componente del músculo proviene dicho crecimiento. La teoría más prometedora sugiere que el crecimiento del sarcoplasma ocurre primero (Roberts et al., 2020). Esto tiene sentido si tenemos en cuenta que el sarcoplasma consiste en una “matriz” que sostiene el componente contráctil, proveyéndolo de energía, y cumpliendo

funciones vitales para su supervivencia y desarrollo (Roberts et al., 2020), pero aún falta mucha investigación para sacar conclusiones sobre este tema.

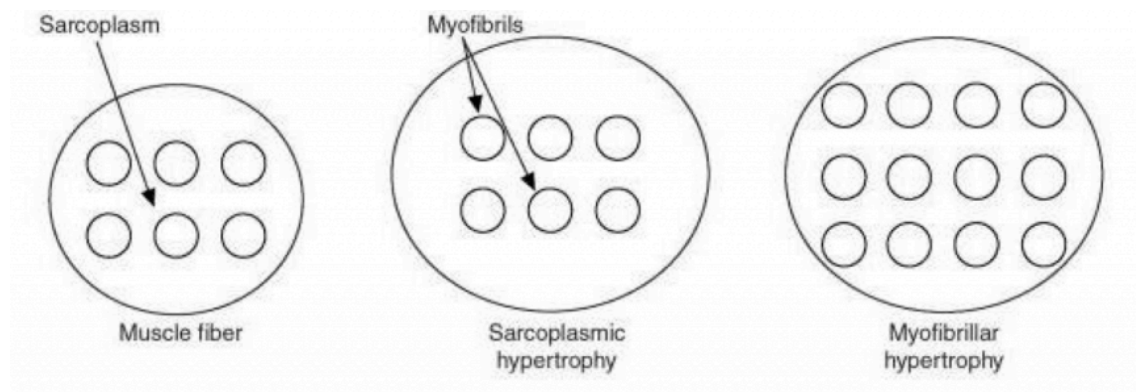


Figura 7: Ejemplo de "hipertrofia sarcoplasmática" (Segunda imagen por la izquierda) e "hipertrofia sarcomérica/miofibrilar" (tercera imagen desde la izquierda) (Roberts et al., 2020).

Aunque esta línea de investigación está lejos de cerrarse, el foco de esta tesis doctoral está en el crecimiento del músculo de forma global, no en el de cada uno de sus componentes.

1.2.2.1 Crecimiento a lo largo

Existen muchos trabajos que analizan los cambios estructurales del músculo, como se le conoce, los cambios en la arquitectura muscular. Uno de los parámetros que más se ha estudiado es el aumento de la longitud muscular o la longitud de fascículo (Brennan et al., 2017; Franchi, Raiteri, et al., 2018; Noorkoiv et al., 2010). La longitud de una fibra muscular tiene importantes implicaciones para su desempeño mecánico. Si las fibras son largas, pueden trabajar en longitudes muy distintas y tienen una velocidad de contracción superior, lo que les permite generar niveles superiores de potencia contráctil (Hoy et al.,

1990; Noorkoiv et al., 2010). A pesar de que las fibras musculares son demasiado pequeñas para verse con herramientas de visualización *in vivo* (Noorkoiv et al., 2010), podemos observar y medir los fascículos que forman agrupaciones de fibras, cuya longitud se puede medir gracias a diferentes recursos (Brennan et al., 2017; Franchi, Raiteri, et al., 2018; Fukutani et al., 2017; Noorkoiv et al., 2010).

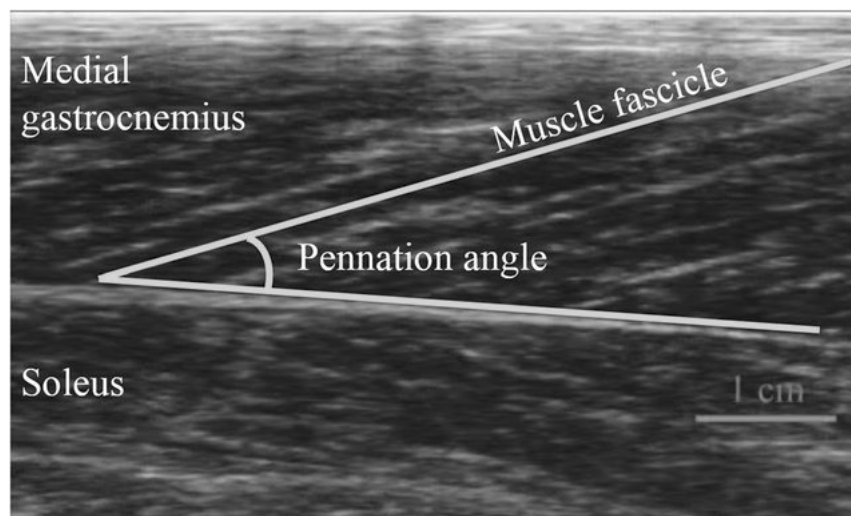


Figura 8: Imagen de la longitud de fascículo (*fascicle length*) y ángulo de pennación (*Pennation angle*) del músculo *soleo*, por Fukutani (2017) (Fukutani et al., 2017).

Varios trabajos han hallado que tras semanas de entrenamiento, la longitud de los fascículos puede aumentar de manera significativa (Franchi et al., 2014a). En particular, parece que el aumento de la longitud de fascículo podría darse tras varias semanas de entrenamiento excéntrico (Franchi et al., 2014a; Reeves et al., 2009). Esto parece una respuesta lógica al tipo de estímulo: si el músculo debe adaptarse a trabajar en longitudes largas, lo lógico es que los componentes se vuelvan más largos también. De esta forma podrán aplicar más fuerza cuando el músculo está muy extendido, modificando la curva Longitud-Tensión en respuesta a las demandas que se le han impuesto. El mecanismo detrás de esta adaptación parece ser un adición de sarcómeros en serie (Reeves et al., 2009; Seynnes, De Boer, et al., 2007). Es decir, añadir un sarcómero más a la “línea” para

que cada uno tenga que alcanzar una longitud inferior para una misma longitud muscular, de esta forma pudiendo aplicar más fuerza activa (Herzog & Leonard, 2002).

Sin embargo, en algunos casos los fascículos pueden llegar a medir 12 cm (Noorkoiv et al., 2010) y dado que las herramientas usadas para medir la longitud de fascículo no permiten alcanzar longitudes semejantes en la mayoría de casos, es muy difícil analizar a longitud de fascículo real (Brennan et al., 2017; Noorkoiv et al., 2010). Generalmente se usan técnicas de extrapolación para ello (Noorkoiv et al., 2010), que son más propensas a los errores de medición (Noorkoiv et al., 2010).

1.2.2.2 Crecimiento a lo ancho

Nuestro conocimiento sobre el crecimiento del músculo es todavía muy limitado. Pero al hablar de crecimiento del músculo la mayoría de los artículos se refieren al crecimiento del músculo a lo ancho (Roberts et al., 2020; B. Schoenfeld et al., 2021). La medición de este es más sencilla que la del músculo a lo largo. Se puede medir en una dimensión midiendo el MT (Franchi, Raiteri, et al., 2018) o en dos dimensiones midiendo el ACSA (Franchi, Raiteri, et al., 2018). Las secciones del ACSA suelen tener una profundidad concreta de cerca de 1 cm (la tercera dimensión) y por ello si usamos el diseño apropiado, la suma de las diferentes “rebanadas” de ACSA puede servirnos para calcular el volumen total del músculo (Franchi, Raiteri, et al., 2018).

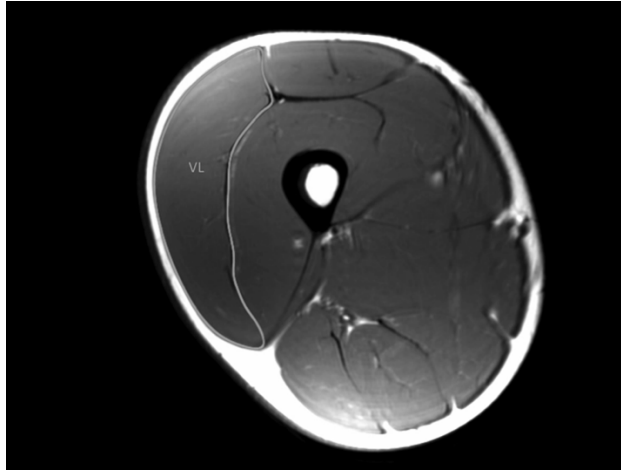


Figura 9: Ejemplo del ACSA del VL por Franchi (2014)(Franchi et al., 2014a).

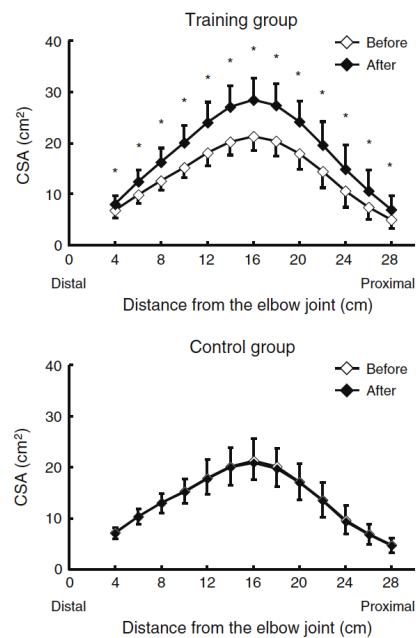


Fig. 6 Distribution of the CSA (cross-sectional area) of the triceps brachii muscle in the training (upper panel) and control (lower panel) groups. Asterisk denotes a significant difference between before and after the training

Figura 10: Aumento de ACSA en diferentes zonas del tríceps braquial en el grupo que entrenó 12 semanas (gráfico de arriba, puntos blancos antes de la intervención, puntos negros después del entrenamiento) y el grupo control (gráfico de abajo) por Wakahara (2012) (Wakahara et al., 2012).

A la hora de elegir la medición algunos autores advierten que el uso del MT puede hacer que el crecimiento del músculo no se aprecie correctamente, porque éste ocurre en 3 dimensiones y con este método medimos solo una (Franchi, Raiteri, et al., 2018; Mendonça

Leitao et al., 2022; Zabaleta-Korta et al., 2022). Por eso el *gold standard* para medir el crecimiento del músculo se considera el ACSA medido mediante MRI (Zabaleta-Korta et al., 2020).

Como ya hemos mencionado en la anterior sección, a día de hoy no sabemos si el crecimiento que observamos en el músculo se debe al aumento del volumen del sarcoplasma, a la adición de miofibrillas en paralelo o al aumento de tamaño de éstas (Roberts et al., 2020). Incluso se ha llegado a especular sobre la posibilidad de que se creen nuevas células (fibras musculares) (Taylor & Wilkinson, 1986). Actualmente no está demostrado que esto pueda ocurrir en seres humanos, pero se ha demostrado en modelos animales (Taylor & Wilkinson, 1986).

Dentro de este crecimiento parece tener cierta relevancia el aumento del ángulo de pennación (Franchi et al., 2014a). Se sabe que tras el entrenamiento de hipertrofia el ángulo con el que las fibras se insertan en la aponeurosis aumenta. Esto puede parecer algo negativo, puesto que la fibra tira en una dirección distinta a la que el músculo se contrae. Pero se cree que esto ocurre porque cada fibra ocupa más espacio al crecer, por lo tanto es una consecuencia inevitable del aumento de masa muscular (Aagaard et al., 2001; Franchi et al., 2014a).

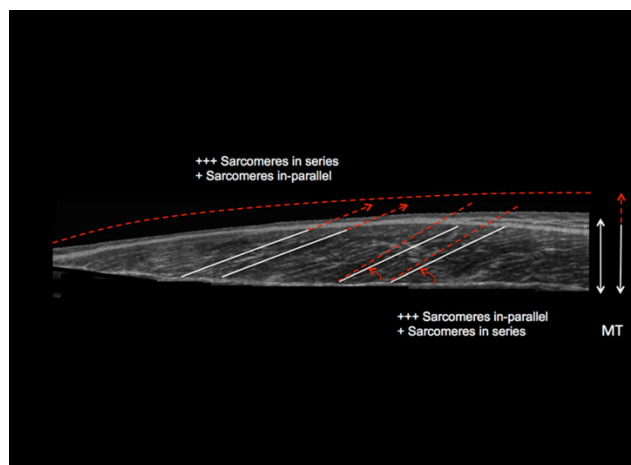


Figura 11: Comportamiento de fibras ante el aumento de tamaño del músculo si incrementa la longitud de fascículo (izquierda) o el ángulo de pennación (derecha) (Franchi et al., 2017).

Al igual que entrenar el músculo estando éste muy estirado promueve un aumento de la longitud de fascículo (Franchi et al., 2014a), se cree que priorizar el entrenamiento de la fase concéntrica podría promover un aumento del ángulo de pennación (Franchi et al., 2014a). Esto parece sugerir que el entrenamiento de la fase concéntrica es mejor para el aumento de la masa muscular que el entrenamiento de la fase excéntrica. Pero los numerosos intentos por demostrar que el entrenamiento de una de las fases es mejor para optimizar el aumento de la masa muscular han fracasado (Franchi et al., 2017), aunque la literatura científica existente al respecto parece sugerir que la ganancia de masa muscular podría estar mediada por diferentes respuestas moleculares en ambos casos (Franchi et al., 2017).

1.2.3 ¿Qué es la hipertrofia regional?

La hipertrofia regional se define como el hecho de que el crecimiento del músculo no es homogéneo en todas las regiones de este (Narici et al., 1989). En otras palabras, si realizamos mediciones en diferentes puntos de un músculo después de entrenarlo para

que aumente de tamaño, el aumento de tamaño no será igual en todas las zonas medidas (Narici et al., 1989).

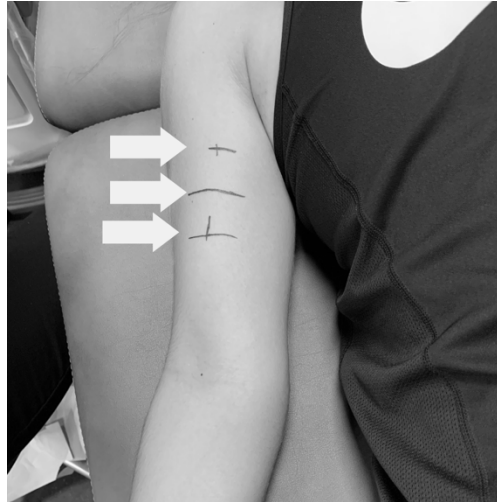


Figura 12: Imagen que representa las 3 regiones cuyo crecimiento se analizó en el estudio de Matta y colaboradores (2011) (T. Matta et al., 2011).

Por ejemplo, algunos estudios hallan crecimiento en determinadas zonas en respuesta a algunos ejercicios mientras que no se observan cambios en la misma zona en respuesta a otros (Wakahara et al., 2012, 2013). Aunque el estudio de la hipertrofia regional está lleno de retos, es un área que ha recibido mucha atención los últimos años (Diniz et al., 2020a; Maeo et al., 2021; Martins-Costa et al., 2022). Más adelante abordaremos todas las incógnitas que existen todavía sobre esta área, y el conocimiento del que disponemos actualmente. Ahora veamos qué tipo de hipertrofia regional puede darse.

1.2.3.1 Entre cabezas

Los músculos están divididos en diferentes partes denominadas “cabezas musculares”. En muchas ocasiones todas las cabezas comparten una misma función, y por eso cabría pensar que siempre crecen igual. Sin embargo en numerosos estudios se ha visto que en

respuesta a un mismo estímulo el crecimiento es distinto (Narici et al., 1989, 1996; Seynnes, de Boer, et al., 2007; Zabaleta-Korta et al., 2021). Aunque también se han visto algunas tendencias que muestran que podríamos provocar que una cabeza en concreto crezca en respuesta a un estímulo. Por ejemplo, sabemos que el RF se desarrolla de manera preferente en ejercicios que implican una extensión de rodilla sin que se involucre ninguna otra articulación (Zabaleta-Korta et al., 2021).



Figura 13: El ejercicio leg extension (la flecha señala la cabeza del cuádriceps que este ejercicio trabaja de manera prioritaria, el RFl) (Fuente: Adobe stock).

Aunque se desconoce qué implicaciones funcionales podría tener o por qué se produce, se sabe que las cabezas de algunos músculos se desarrollan preferentemente en algunos estudios. Esto se ha visto en cuádriceps (Narici et al., 1996) y en pectoral (Chaves et al., 2020).

1.2.3.2 Dentro de cada cabeza

Si tratamos cada cabeza como un músculo separado, también numerosos estudios nos muestran que estas crecen más en algunas regiones que en otras (Diniz et al., 2020a; Ema

et al., 2013a; Häkkinen et al., 2001). Esto se ha demostrado en músculos como el cuádriceps (Seynnes, de Boer, et al., 2007), el pectoral (Martins-Costa et al., 2022), el bíceps (T. Matta et al., 2011), el tríceps (Wakahara et al., 2012) y los isquiosurales (Maeo et al., 2021). Generalmente el músculo se distribuye por zonas como proximal, media y distal y se mide cuánto ha crecido el músculo en las diferentes zonas (Narici et al., 1996). Sin embargo, los estudios que se han llevado a cabo en este tema no miden siempre las mismas regiones de un músculo, lo que dificulta establecer patrones de crecimiento entre estudios.

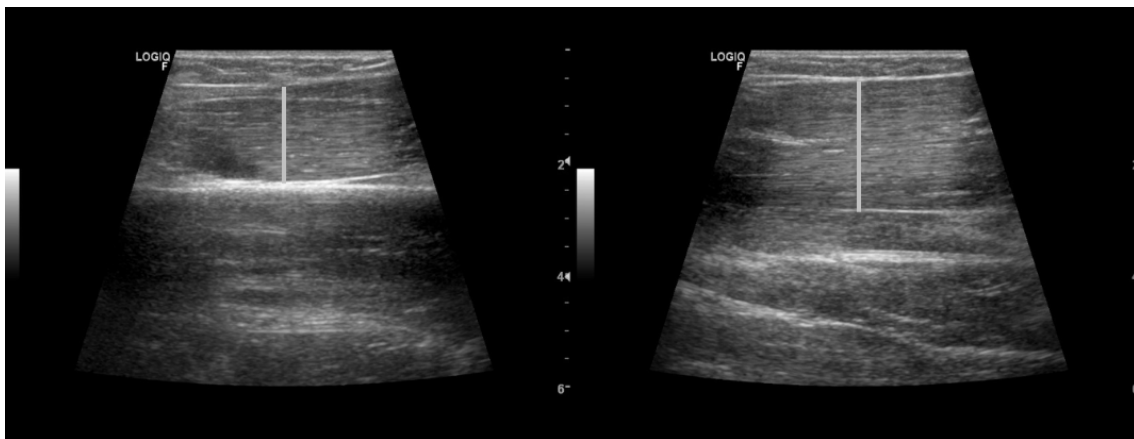


Figura 14: Crecimiento de la región a 50% de la distancia entre acromion y epicóndilo lateral de los flexores de brazo, al inicio (izquierda) y 9 semanas después (derecha) (Elaboración propia).

Algunos estudios especulan sobre las implicaciones funcionales que tendría esta clase de hipertrofia para el rendimiento deportivo (Earp et al., 2015), otros hablan sobre posibles causas de la hipertrofia regional, tratándola como una consecuencia de la configuración muscular preestablecida y no como una respuesta adaptativa al entorno (Blemker et al., 2005). Todas las posibilidades serán expuestas en secciones futuras.

1.2.4 Métodos de medición de hipertrofia

El método de medición de hipertrofia es muy relevante a la hora de considerar los resultados de un estudio, puesto que el método de medición podría alterar el resultado. A continuación, se exponen los métodos de medición de cantidad de masa muscular más relevantes.

1.2.4.1. *Medición de hipertrofia por imágenes*

1.2.4.1.1 Resonancia magnética (MRI)

La MRI se considera el *gold standard* para la medición del aumento de tamaño de un músculo. Es un método muy costoso porque no es frecuente que un equipo de investigación disponga de un aparato de MRI y tiene un coste monetario muy elevado. Sin embargo permite medir el músculo en 2 e incluso 3 dimensiones, dependiendo de la técnica que se utilice (Kawakami et al., 1995; Roman et al., 1993). También exige un operador especializado que conozca bien el protocolo que debe llevarse a cabo.

La MRI permite obtener imágenes axiales de zonas concretas. El problema de la MRI es que dichas imágenes suelen tener un grosor limitado (1 cm en muchas ocasiones (Kawakami et al., 1995)) y por ello si se quiere obtener el volumen total del músculo debe llevarse a cabo una serie de procedimientos que de realizarse mal, podrían llevar a error. Sin embargo, tomar de 1 a 3 imágenes en cada región que se quiere comparar es el método más común en la mayoría de trabajos llevados a cabo con este aparato (Earp et al., 2015).

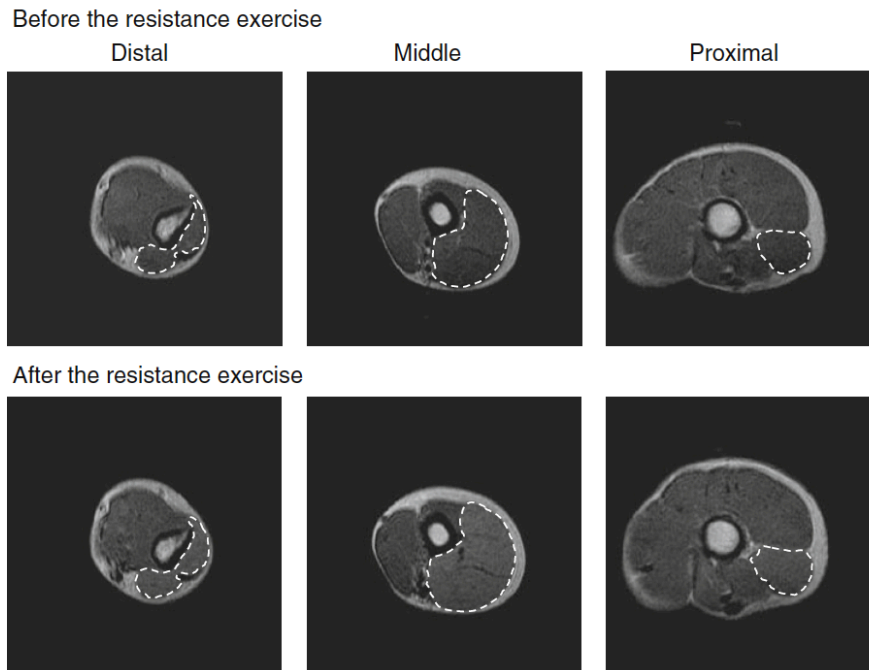


Figura 15: Imagen de MRI para medir la hipertrofia regional de los extensores de codo antes (arriba) y después (abajo) de 12 semanas de entrenamiento (Wakahara et al., 2012).

1.2.4.1.2 Ultrasonidos (US)

En su base, los ultrasonidos funcionan de una manera similar a la MRI. Pero en su caso la medición se realiza en un área muy limitada y como máximo en 2 dimensiones. Esto puede traer consigo una serie de problemas, puesto que sabemos que el crecimiento del músculo ocurre en 3 dimensiones. Sin embargo, la medición del crecimiento del músculo mediante ultrasonidos se considera válida para evaluar el crecimiento muscular (Franchi, Raiteri, et al., 2018) y existen una variedad de técnicas que nos permiten hacer mediciones tanto en 1 como en 2 dimensiones.

Cabe destacar que los Ultrasonidos traen consigo una serie de requerimientos que no tiene la MRI. Puesto que se mide el tamaño de una zona concreta, que dependiendo de la sonda de la máquina abarca de 4 a 5 cm (Franchi, Raiteri, et al., 2018), exige mucha precisión

a la hora de determinar dicha zona. Para asegurarnos de que tanto antes como después del entrenamiento cuyo efecto se quiere cuantificar, se mide el mismo sitio. Ligeras variaciones en el posicionamiento de la sonda pueden traer consigo mediciones posteriores que no reflejen el crecimiento real del músculo.

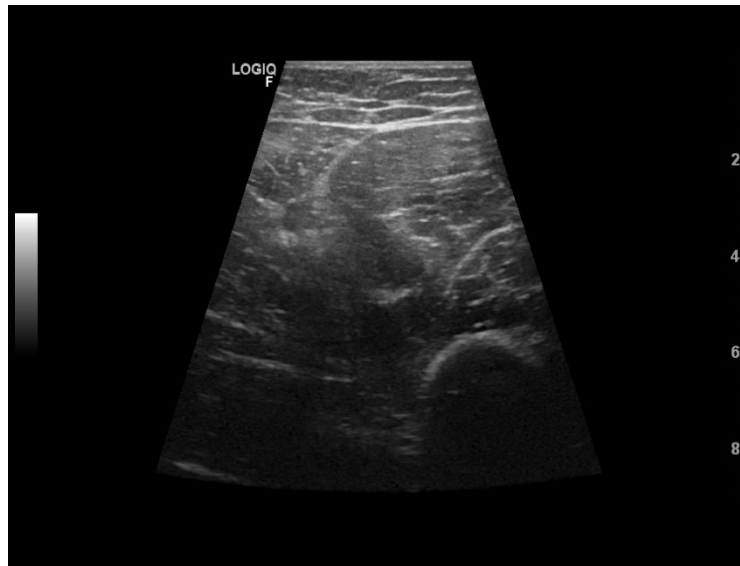


Figura 16: Una imagen del cuádriceps femoral tomada con ultrasonidos (imágenes de nuestro laboratorio).

No debemos olvidar que la mayoría de estudios que miden la hipertrofia regional cuantifican el crecimiento durante 6-12 semanas aproximadamente. En ese tiempo el crecimiento que cabe esperar es de un 5-10% aproximadamente (aunque varía dependiendo del músculo analizado y de la medición realizada) (Martins-Costa et al., 2022; T. Matta et al., 2011). Puesto que a lo largo del músculo éste aumenta y reduce su grosor y área, un mal posicionamiento puede dar a entender un crecimiento que realmente no existe.

1.2.4.1.3 TC (*computerized tomography* o tomografía computerizada)

La TC se utilizaba en algunos estudios antiguos (Nordal et al., 1988) pero produce imágenes de menor calidad que las anteriores y por ello a día de hoy no está presente en la mayoría de los estudios científicos que analizan la hipertrofia regional. Además, la tomografía utiliza radiación ionizante, cuyo uso está asociado con problemas de salud (Hahn & Van Farowe, 1970).

1.2.4.2 Medición de hipertrofia por otras vías

1.2.4.2.1 Absorciometría de rayos X de energía dual (DEXA)

El DEXA es el *gold standard* para la medición de la grasa corporal (Zulet Fraile et al., 2019), pero también permite medir la cantidad de masa ósea y muscular del cuerpo. No sirve para la medición de hipertrofia regional, pero al ser uno de los métodos más comunes para medir la masa magra, se ha incluido en esta sección.

1.2.4.2.2 Circunferencia mediante cinta métrica

Algunos estudios miden la cantidad de masa muscular midiendo la circunferencia con una cinta métrica (Staniszewski et al., 2020). No es un método fiable porque esto recoge la circunferencia de varios músculos (bíceps, tríceps y braquial entre los más prominentes) y tejidos que hay en el brazo que no son tejido muscular: por ejemplo, la grasa. Existen muchos reportes de personas que han ganado masa muscular y han perdido

grasa a la vez (Barakat et al., 2020), y por ello no es efectivo para valorar el aumento de masa muscular.



Figura 17: Medición del tamaño del músculo mediante cinta métrica, utilizado en algunos estudios (Staniszewski et al., 2020) (Imagen de nuestro laboratorio).

1.2.4 Tipos de mediciones

Como hemos dicho anteriormente, los diferentes métodos de medición permiten diferentes tipos de mediciones, en esta sección expongo las más importantes:

1.2.5.1 Volumen

Puesto que el músculo tiene 3 dimensiones y crece en 3 dimensiones (Franchi, Raiteri, et al., 2018), podríamos considerar que medir su volumen es el método más fiable para evaluar el crecimiento del músculo. No obstante, como he mencionado previamente, su cálculo no es sencillo y requiere el uso de MRI. Por ello no es muy frecuente encontrar mediciones de volumen muscular en los artículos, ni siquiera mediciones de volumen regional.

Aunque sea el mejor método para medir el crecimiento del músculo, valorar la hipertrofia regional requiere conocer la circunferencia de cada punto de un músculo, puesto que esto es lo que nos permitirá saber si una región en concreto ha crecido o no.

1.2.5.2 ACSA

El ACSA es el método de medición más frecuente a la hora de valorar el crecimiento del músculo. Consiste en conocer la circunferencia del músculo en una zona concreta de éste, por lo que es una medición en dos dimensiones (Franchi, Raiteri, et al., 2018). Normalmente se realiza utilizando la MRI o un aparato de ultrasonidos que tenga la sonda muy grande, puesto que los ultrasonidos que comúnmente se usan en clínica tienen un campo de visión demasiado estrecho como para que abarque todo el músculo (Franchi, Raiteri, et al., 2018). También es posible medir el ACSA con la técnica de campo de visión extendido o EFOV, una técnica validada científicamente que nos permite medir el ACSA con US que tienen sondas con un campo de visión estrecho (Earp et al., 2015).

Existen otras formas alternativas menos frecuentes para medir el ACSA con ultrasonidos que tienen las sondas pequeñas (Zabaleta-Korta et al., 2021). Sin embargo han sido cuestionadas por algunos autores (Mendoza Leitao et al., 2022).

La mayor desventaja del ACSA es que es una medición en 2 dimensiones y el músculo puede crecer en 3. Por lo tanto, existe el riesgo de que parte del crecimiento no se mida correctamente.

1.2.5.3 Grosor muscular o MT

El MT consiste en medir la distancia entre aponeurosis superficial y profunda del músculo, o en otras palabras, el MT del músculo en un punto concreto. Esto reduce la medición a una única dimensión, lo que podría hacer que se pasara por alto una parte del crecimiento mayor que en el ACSA o el volumen (Franchi, Raiteri, et al., 2018). Al igual que en el ACSA, exige que el posicionamiento de la sonda sea muy preciso tanto en la medición que se hace antes de iniciar el período de entrenamiento como el que se hace después. Sin embargo, es mucho más sencillo de realizar que el ACSA con un método de campo de visión extendido y por eso se usa con frecuencia cuando sólo se dispone de un aparato de ultrasonidos con un campo de visión estrecho (Franchi, Raiteri, et al., 2018). Se sabe que tiene una correlación muy alta con el ACSA (Franchi, Longo, et al., 2018).

1.2.5.4 PCSA

El PCSA es una medición de sección transversal que tiene en cuenta el ángulo de pennación del músculo. En los músculos peniformes, estos se insertan en la aponeurosis

con cierto grado de inclinación. Si se mide el ACSA en esta clase de músculos, la medición resultante podría no reflejar el crecimiento real del músculo, dado que si las fibras crecen a lo ancho (Roberts et al., 2020) un ACSA no estaría midiendo su grosor de forma perpendicular. Por ello, el PCSA es simplemente un ACSA medido acorde al grado de pennación del músculo.

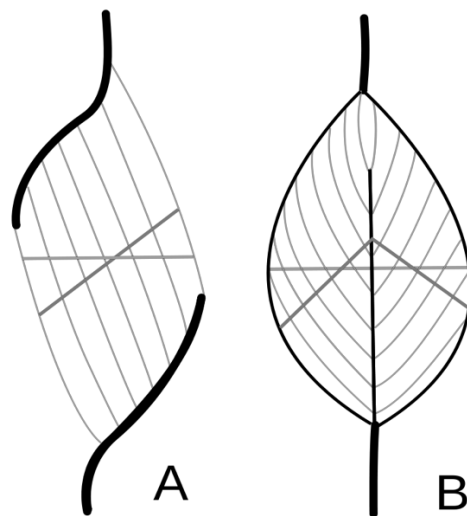


Figura 18: Línea paralela ACSA y línea oblicua el PCSA de músculos y Unipenniformes (A) y bipenniformes (B).

(Fuente: Progresión con pesas (Zabaleta-Korta, 2022)).

Aunque en la teoría esto tenga sentido, en la práctica hay reportes que demuestran que el incremento del ángulo de pennación post entrenamiento podría no ser igual en todas las regiones del músculo (Ema et al., 2013a). Además, si de verdad el PCSA fuera una mejor representación del tamaño del músculo que el ACSA debería tener mayor correlación con la fuerza que genera que este último, sin embargo hay reportes que no encuentran diferencias entre ellos (Bamman et al., 2000). En definitiva, no parece ser una medición mejor que el ACSA para evaluar la hipertrofia regional.

1.2.6 Posibles causas de la hipertrofia regional

A pesar de que comienza a haber evidencia suficiente para empezar a plantear teorías sobre por qué ocurre la hipertrofia regional, a día de hoy no existe un consenso sobre por qué ocurre. A esto debemos sumarle que los artículos ofrecen resultados contradictorios en muchos casos. Analicemos las líneas de pensamiento con más peso dentro de esta área:

1.2.6.1 La hipertrofia regional como respuesta adaptativa

Los hallazgos de algunos artículos nos hacen pensar que la hipertrofia regional es una respuesta adaptativa al entrenamiento. Es decir, que la hipertrofia regional ocurre como respuesta a las demandas mecánicas que se le imponen al cuerpo.

Por ejemplo, varios artículos sugieren que durante el ejercicio de *leg extensión* el RF es la cabeza que más crece (Diniz et al., 2020b; Ema et al., 2013a; Housh et al., 1992; Maeo et al., 2018; Narici et al., 1996; Seynnes, de Boer, et al., 2007; Zabaleta-Korta et al., 2021). De esto podríamos concluir que cuando la rodilla se extiende estando la cadera flexionada, el RF gana mucha relevancia. Sin embargo, dentro del propio RF, no parece que siempre crezca la misma región: mientras Narici y colaboradores (1996) hallaron el mayor crecimiento cerca del 70% de longitud del fémur (cerca de la rodilla), algo que parece corresponderse con los hallazgos de otros artículos (Diniz et al., 2020b), Zabaleta-Korta y colaboradores (2021) no hallan diferencias con respecto al resto de zonas (Zabaleta-Korta et al., 2021), pero estos autores no usan el mismo protocolo para medir el ACSA que Narici o Diniz. Ema y colaboradores (2013) hallaron que la zona distal

crecía más que la proximal, pero su zona distal era al 50% de la longitud del fémur mientras que en la mayoría de los artículos está en el 70%.



Figura 19: Ejercicio leg extensión (Fuente: Progresión con pesas (Zabaleta-Korta, 2022)).

Este es uno de los grandes problemas a la hora de sacar conclusiones en lo que respecta a la hipertrofia regional, que la mayoría de estudios no analizan las mismas zonas, no usan los mismos aparatos y muchas veces ni siquiera hacen las mismas mediciones. Esto dificulta mucho la labor de extraer patrones.

Curiosamente, cuando se ha analizado el crecimiento del RF en ejercicios en los que la cadera se extiende a la vez que la rodilla (por ejemplo al hacer sentadillas, o ciclismo) se halla que el RF es el músculo que menos crece dentro del cuádriceps (Earp et al., 2015; Ema et al., 2016). Por lo tanto, esto podría indicarnos que las diferencias en la hipertrofia regional entre cabezas de un mismo músculo podrían explicarse con las demandas

mecánicas impuestas al músculo. En una sentadilla, el RF no puede generar mucha tensión porque al ser flexor de cadera podría entorpecer la labor de los extensores de cadera. Sin embargo, en un *leg extension* esto no ocurre y de ahí que crezca más que el resto.

Otro hallazgo interesante que parece avalar esta línea de pensamiento es la mayor activación de la zona proximal del RF cuando se realizan flexiones de cadera, y mayor activación de la zona distal cuando se realizan extensiones de rodilla, lo que explicaría por qué la zona distal del cuádriceps crece más durante el *leg extension* (Miyamoto et al., 2012). Sin embargo, aunque algunos artículos muestran que el EMG intramuscular durante el ejercicio se corresponde con la posterior hipertrofia (Wakahara et al., 2012, 2013), en otros artículos esto no es así (Earp et al., 2016; Wakahara et al., 2017), por lo que no podemos sacar conclusiones sobre esto.

Hay artículos que han encontrado por ejemplo una hipertrofia regional diferente dependiendo del punto de la curva fuerza-velocidad que se utilice. Earp y colaboradores (2015) observaron que la parte distal de los vastos crecía en respuesta a sentadillas profundas con salto y cargas bajas. Es decir, mucha velocidad y poca fuerza, si observamos el perfil fuerza-velocidad. En cambio, la parte proximal crecía en respuesta a las sentadillas pesadas, realizadas con entre 80%-95% del 1RM (mucha fuerza y poca velocidad). Según la interpretación de los autores, esto podría deberse al hecho de que esta adaptación haría que esta región distal, más rígida que la proximal, permitiera aprovechar mejor las fuerzas elásticas (Siebert et al., 2008). Además, aumentaría el brazo de momento de algunos “compartimentos” internos del músculo y cambiaría el momento

de inercia del segmento de la pierna, favoreciendo alcanzar velocidades mayores (Earp et al., 2015).

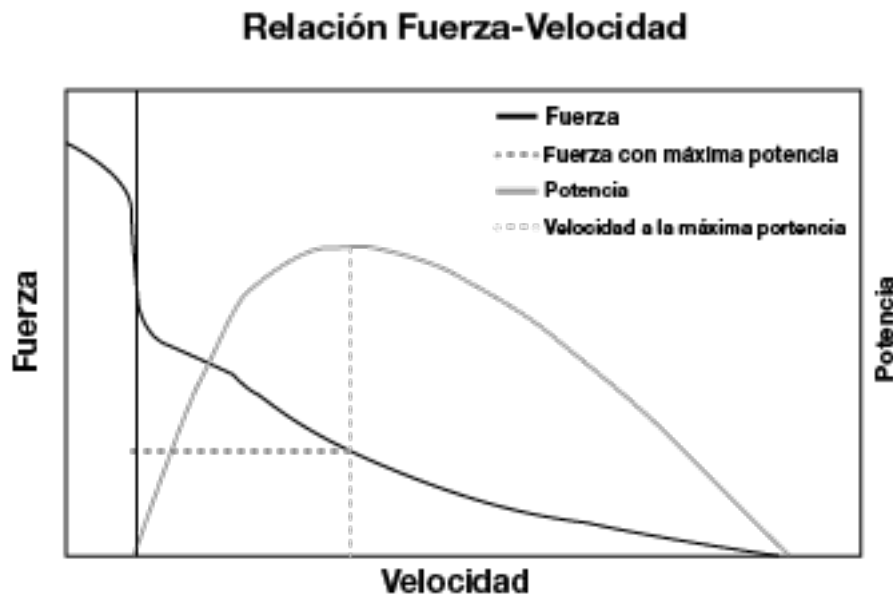


Figura 20: Perfil fuerza-velocidad del libro "Progresar con pesas" (Zabaleta-Korta, 2022).

Algunos artículos analizan el tiempo bajo tensión (TUT) arrojando resultados contradictorios (Diniz et al., 2020a; Martins-Costa et al., 2022). Por un lado el artículo de Martins-Costa y colaboradores (2021) nos muestra que ante un mismo TUT pero diferente número y duración de repeticiones en el press banca, la hipertrofia regional del pectoral mayor no cambia (Martins-Costa et al., 2022), pero sí lo hace el del tríceps braquial. En este músculo se halló que la región que más crecía era la más cercana al codo (80% de la longitud entre tubérculo mayor del húmero y epicóndilo) en ambos grupos, pero sin diferencias entre ellos. Puesto que otros trabajos nos muestran que ante ejercicios de press la parte que más crece es la cercana al codo (Wakahara et al., 2013), no podemos atribuir esta hipertrofia regional al TUT o a la duración de las repeticiones de este estudio.

Por otro lado, Diniz y colaboradores nos muestran que ante el mismo TUT pero repeticiones de diferente duración, se daban diferencias en la hipertrofia regional del

cuádriceps (Diniz et al., 2020b). Los resultados parecen indicar que en el caso del cuádriceps la duración de las repeticiones tendría importancia. Sin embargo, este es el único artículo que lo demuestra, y por ello es difícil determinar si estos resultados se deben al TUT o había otras causas que pudiesen determinar dicha hipertrofia regional, como por ejemplo que cada sujeto de ese estudio estuviera predispuesto a tener un tipo de hipertrofia regional con independencia del entrenamiento que realizaron.

Finalmente tenemos hallazgos basados en la longitud muscular y en la resistencia del ejercicio. Analizando el tríceps, Wakahara y colaboradores (2020) se percataron de que la cabeza larga del tríceps sigue un patrón similar al RF. Crece cuando se realizan ejercicios de extensión de codo (Wakahara et al., 2012), pero no cuando se realizan acciones que combinan codo y hombro (Wakahara et al., 2013). Esto ha quedado demostrado en otros estudios también (Brandão et al., 2020). Curiosamente, un reciente estudio sugiere que realizar los ejercicios de tríceps buscando la elongación de la cabeza larga promueve un mayor crecimiento del tríceps en general, y como novedad también las cabezas medial y lateral del tríceps. Según los autores esto podría deberse a que al estar en la curva descendiente de la relación longitud-tensión, la cabeza larga puede aplicar menos fuerza pero sufre tensiones muy elevadas. Esto favorecería el hecho de que las otras dos cabezas contribuyan más sin que suponga un gran perjuicio para la primera (Maeo et al., 2022).

Además de esto, Wakahara y colaboradores (2013) vieron que los hallazgos de hipertrofia regional tenían relación con la actividad mioeléctrica intra-muscular que se daba durante la sesión. Sin embargo dicha relación era menos clara en un estudio que hicieron más

adelante con un diseño similar (Wakahara et al., 2017). Y tampoco ha quedado demostrada en otros estudios con diseños similares (Earp et al., 2016).

En la misma línea, Zabaleta-Korta y colaboradores (2023), Nosaka y Sakamoto (2001) y recientemente Pedrosa y colaboradores (2023) hallaron que la zona distal de los flexores de codo crecía más en respuesta a ejercicios en los que la parte con mayor resistencia se producía cuando el codo estaba extendido a cuando se producía cuando el codo estaba flexionado (Nosaka & Sakamoto, 2001; Pedrosa et al., 2022; Zabaleta-Korta et al., 2023). No obstante, en el artículo de Zabaleta-Korta y colaboradores (2023) se observa un crecimiento muy pequeño de casi todas las regiones, lo que hace sospechar que probablemente el volumen o los ejercicios seleccionados no fueron suficientes para causar cambios (Zabaleta-Korta et al., 2023).

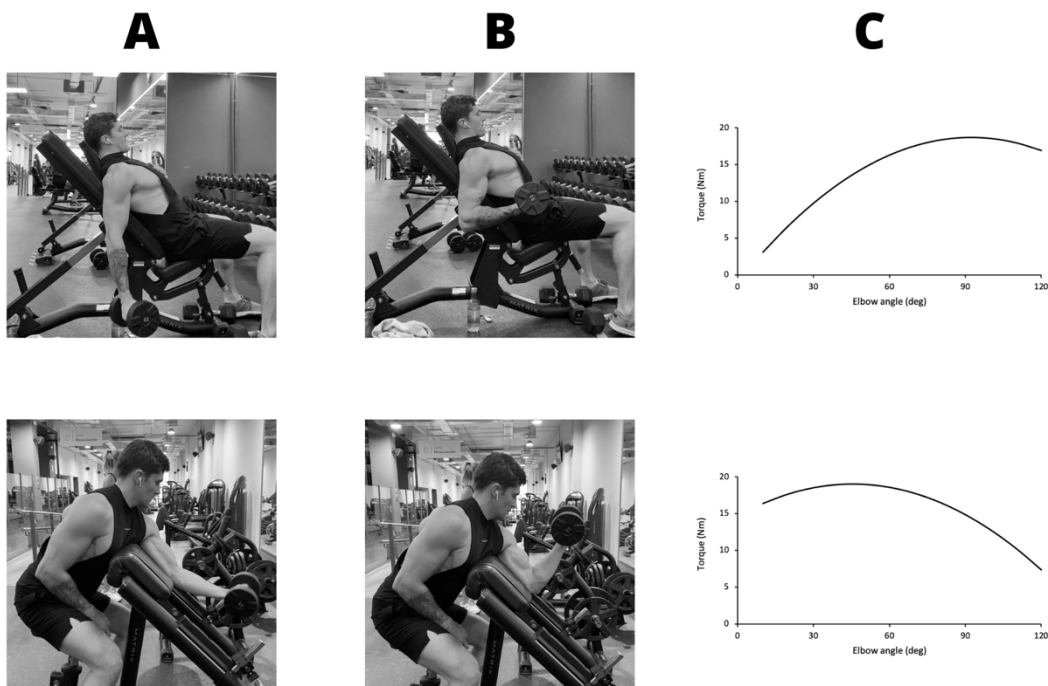


Figura 21: Incline curl (arriba) y preacher curl (abajo). A es el inicio de cada ejercicio y B marca el final. C representa la resistencia del ejercicio en base a su brazo de momento externo (Loss & Candotti, 2008) Fuente: Zabaleta-Korta y colaboradores 2023 (Zabaleta-Korta et al., 2023).

En esta sección, pretendo destacar mediante algunos estudios la importancia que tiene para la hipertrofia regional el entrenamiento que elegimos. Sin embargo, como ya ha quedado patente, es poco probable que la hipertrofia regional se deba únicamente al entrenamiento realizado. Es muy probable que la hipertrofia regional en parte sea una consecuencia inevitable provocada por la configuración del músculo u otros factores que veremos a continuación.

1.2.6.2 La hipertrofia regional como consecuencia inevitable

Hay algunos estudios que sugieren que los músculos tienen determinadas características que podrían predisponerlos a sufrir algunas formas de hipertrofia regional concretas. Por

ejemplo, hay sobrada evidencia que sugiere que cuando un músculo se contrae, los fascículos que lo componen tienen un grado de acortamiento distinto. Ejemplo de ello es un estudio que realizó un modelo de la cabeza larga del bíceps demostrando que en la zona cercana al centro del músculo los fascículos no se acortaban de forma uniforme (Blemker et al., 2005). Esto también fue comprobado en modelos animales (Ahn et al., 2003) e *in vivo* en bíceps braquial de sujetos sanos (Pappas et al., 2002) y cuádriceps de sujetos sanos (Finni et al., 2008).

Parece que para que esto ocurra, tiene especial importancia la curvatura de los fascículos desde su origen hasta su inserción, y su longitud, que no es la misma en todos los casos (Blemker et al., 2005). Sabiendo que los ejercicios que trabajan un músculo en estiramiento suelen generar mayores aumentos de masa muscular que los que lo trabajan en acortamiento (B. Schoenfeld et al., 2021) esto ofrece una explicación de por qué algunas regiones aumentan de tamaño y otras no.

A esto debemos añadir que en el estudio se halló la existencia de fuerzas de cizalla en los fascículos, y sabemos que esto influye en la capacidad de los fascículos de transmitir fuerzas de forma lateral (Huijing, 1999; Purslow, 2002). Si algunas regiones tienen mayor potencial para transmitir fuerzas lateralmente, es posible que hallar hipertrofia regional de dichas regiones sea más probable, ya que hay más fibras sufriendo tensiones elevadas. Está claro que aquí la forma y las características de la matriz extra celular tienen un papel importante, puesto que es la que transmite fuerzas entre fibras, además de su ya conocido rol en la mecanotransducción (Purslow, 2020).

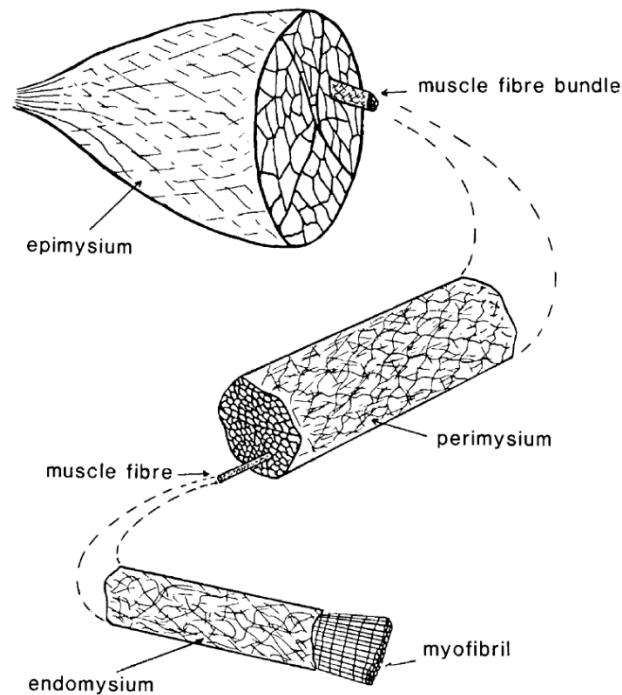


Figura 22: Imágenes del tejido conectivo intra-muscular por Purslow (2002) (Purslow, 2002).

Si a esto le sumamos el hecho de que es común hallar grandes diferencias entre la estructura muscular de personas, con hallazgos como una quinta cabeza en el cuádriceps (Grob et al., 2016), una tercera cabeza en el bíceps braquial (Asvat et al., 1993) o el hecho de que las fibras del pectoral de un lado se unen con el de otro en algunos casos (Burley et al., 2020)... Vemos que todavía estamos lejos de entender completamente las implicaciones que la estructura muscular tiene en la hipertrofia regional y si podemos influir sobre estas.

1.2.6,3 La hipertrofia regional debida a factores “aleatorios”

Esta sección pretende mostrar que basándonos en la evidencia actual, hay factores que determinan la hipertrofia regional que probablemente no podemos controlar. Un ejemplo claro de ello es el artículo de Diniz y colaboradores (2020) que se ha analizado en una sección previa. En este artículo, en respuesta a entrenamientos con diferente duración de

fase concéntrica y excéntrica, se produce una hipertrofia regional distinta. Aunque algunos hallazgos se corresponden con evidencia previa, por ejemplo el hecho de que hacer el ejercicio *leg extension* con una fase excéntrica más larga favorece el crecimiento de la parte distal del VL (Diniz et al., 2020b; Franchi et al., 2014a) y que en respuesta al ejercicio *leg extension* la cabeza del cuádriceps que más crece es el RF (Diniz et al., 2020b), hay algunos hallazgos que no se corresponden con ningún otro artículo.

Por ejemplo Franchi y colaboradores (2014) muestran que en respuesta al *leg extension* concéntrico la zona media del VL crece más que el resto, pero esto no parece ser así en el estudio de Diniz y colaboradores (Franchi et al., 2014a). El estudio de Diniz y colaboradores halla que el RF del grupo que realizó un excéntrico muy rápido y un concéntrico muy lento (1 segundo y 5 segundos respectivamente y el grupo que realizó justo lo contrario crecieron en la zona de 50% de longitud del fémur más que en el resto de grupos (Diniz et al., 2020b). A esto debemos añadirle que en esa misma región y en ese mismo músculo pero con una duración completamente distinta (2" concéntrico y 2" excéntrico) también se vio un crecimiento mayor que en la zona proximal en otro estudio (Ema et al., 2013a). Esta diferencia entre hallazgos hace que nos planteemos si la duración de cada fase es relevante para la hipertrofia regional o no, y si tal vez las diferencias en hipertrofia regional halladas por Diniz y colaboradores (2020) no se debieron a otras causas como el ejercicio seleccionado, la genética, la arquitectura muscular o el azar.

Aquí la experiencia previa de cada persona podría tener un rol importante. Los estudios de hipertrofia regional consisten en exponer a un sujeto a pocas semanas de estímulos que pretenden generar un tipo de adaptaciones. Sin embargo, si una persona lleva muchos años expuesta a un tipo de estímulo es posible que haya obtenido un tipo de hipertrofia

regional que influirá en los resultados de un estudio de pocas semanas realizado posteriormente. Eso podría explicar las diferencias en los hallazgos de hipertrofia regional de estudios con diseños similares, y nos hace ver la importancia que tendría analizar la experiencia previa de los sujetos para no sesgar los resultados del estudio.

1.2.7 ¿Qué es lo que sabemos y qué nos queda por saber de la hipertrofia regional?

Hasta la fecha, hemos identificado 46 estudios que analizaban directa o indirectamente la hipertrofia regional en seres humanos sanos (Bloomquist et al., 2013; Brandão et al., 2020; Buckner et al., 2021; Carey Smith & Rutherford, 1995; Chaves et al., 2020; Davies et al., 2021; De Vasconcelos Costa et al., 2021; Diniz et al., 2020b; Drummond et al., 2016; Earp et al., 2023, 2015; Ema et al., 2013a; Fonseca et al., 2014; Franchi et al., 2014b; Häkkinen et al., 2001, 2003; Higbie et al., 1996; Housh et al., 1992; Kanehisa et al., 2002; Kawakami et al., 1995; Kojic et al., 2022; Kubo et al., 2006; Lundberg et al., 2019; Maeo et al., 2018, 2021, 2022; Mangine et al., 2018; Martins-Costa et al., 2022; T. Matta et al., 2011; T. T. Matta et al., 2017; McMahon et al., 2014; McMahon et al., 2014; Narici et al., 1989, 1996; Noorkõiv et al., 2014; Pedrosa et al., 2022, 2023; Roman et al., 1993; Sato et al., 2021; Seynnes, De Boer, et al., 2007; Tracy et al., 1999; Varović et al., 2021; Wakahara et al., 2012, 2013, 2017; Zabaleta-Korta et al., 2021, 2023). Los métodos usados para medir la hipertrofia son los Ultrasonidos (16 artículos), la tomografía computerizada (1 artículo) y la MRI (27 artículos). La mayoría de las veces los estudios medían el ACSA (23 artículos) o el volumen (15 artículos), y en algunos casos el MT (10 artículos). El cuádriceps es el músculo más estudiado (27 artículos), seguido por el tríceps braquial (8 artículos), bíceps braquial (8 artículos), el pectoral mayor (4 artículos),

isquiosurales (3 artículos) y braquial (1 artículos). Aunque en cada artículo se utilizan diferentes ejercicios, el ejercicio más utilizado con diferencia es el *leg extension* (23 artículos) aunque de formas muy distintas (desde convencional a duraciones diferentes en las diferentes fases, isocinético, isométrico, movimiento parcial...). También destacan la sentadilla con barra (8 estudios) y el press banca (4 artículos). Las zonas estudiadas en cada músculo varían mucho. En algunos estudios se analiza toda la longitud muscular (17 artículos) y luego hay toda clase de fórmulas que difieren entre ellas, siendo las más populares el análisis por zona proximal, medial y distal (p.ej: 30%, 50% y 70% de la longitud muscular). Sin embargo, por diversas razones muchos estudios eligen otros puntos de medición (obtener una imagen cada 10% de la longitud del músculo, 30% y 55% o 50%, 60% y 70% de la longitud muscular). La duración media de los entrenamientos realizados en los estudios fue de 11,2 semanas. A continuación, mostramos la información más relevante de los artículos revisados en una tabla:

Tabla 1: Todos los estudios en los que se ha visto hipertrofia regional tras un período de entrenamiento llevados a cabo hasta la fecha.

Estudio	Año	Sexo	Expe-riencia	Músculo	Ejercicio	Méto-do	Medi-ción	Dura-ción (sema-nas)	Zonas	Hallazgo
Bloomquist	2013	M	NS	Cuádriceps isquios	Sentadillas (profundas y parciales)	MRI	ACS A	12	Todo	En sentadillas profundas crecen todas las regiones, en parciales solo proximal. Isquiosurales solo crece grupo profunda proximal. Cuidado porque "Quad" incluye aductor en zonas proximales, y sartorio en todo
Brandao	2022	M	0 (Recrea-tional)	Pectoral mayor y tríceps braquial	Press banca y press francés	MRI	ACS A	10	Pectoral costilla 3, tríceps 50%-60% de longitud de húmero	Cabeza lateral de tríceps braquial crece más en respuesta a press banca y press banca + press francés, cabeza larga crece para press francés y press francés y press banca pero no para press banca
Buckner	2001	NS	0	Bíceps braquial	Curl de bíceps	US	MT	8	50%,60%,70%	NO se realizan comparativas entre regiones, pero la que más crece es la zona distal
Chaves	2020	M	0	Pectoral mayor	Press banca y press banca inclinado	US	MT	8	costillas 2-3,3-4 y 4-5	La zona proximal crece sólo en respuesta a press banca inclinado
Davies	2021	M/F	Recreati-onal	Pectoral mayor y tríceps braquial	Press banca	US	MT	8	Tríceps: 60% del brazo (cerca del codo), pectoral: costillas 2-3,3-4 y 4-5	Zona proximal del pectoral crece más en respuesta a TRAD que CLUS, zona distal del pectoral crece en ambas
Diniz	2020	F	NS	Cuádriceps	<i>Leg extension</i>	MRI	ACS A	10	30%, 50% y 70%	5c1e y 1c53 crece región medial de RF, región distal de VL crece más en 5c1e y 1e5c
Drummond	2016	M	0	Bíceps braquial	<i>Preacher curl</i> adaptado	MRI	Volu-men	12	Todo	Sin diferencias en el crecimiento de las regiones analizadas
Earp	2015	M	0	Cuádriceps	Sentadilla, sentadilla con salto, salto	US	ACS A	8	33%, 50% y 67%	La zona proximal de VI solo crece en respuesta a sentadilla con salto, pero la zona distal solo crece en respuesta a sentadilla pesada. Solo sentadilla pesada hace crecer zona medial de VM. La zona distal de vastos crece sobre todo en respuesta a sentadilla pesada, y proximal sobre todo en respuesta a sentadilla con salto (quitando VI)
Earp	2023	M/F	0-1	Cuádriceps	Sentadilla en Smith y <i>leg extension</i>		Volu-men	8	Entre 30% y 70% todo	Los ejercicios de cadena cinética abierta (<i>leg extension</i>) hacen que crezca la zona distal del cuádriceps mientras que los de cadena cinética cerrada hacen que crezca más la zona proximal.

Ema	2013	M	0 (Recrea tional)	Cuádriceps	<i>Leg extension</i>	MRI y US	ACS A Y MT	12	RF: 50% y 70%, VL: 35% y 55%, VM: 15% y 35%, VI: 35% y 55%	VI crece y el resto sí, RF crece más que el resto. Región distal crece más que región proximal.
Fonseca	2014	M	NS	Cuádriceps	Sentadilla solo en 2 grupos (CICE y VICE), y en otros 2 también prensa, peso muerto y lunges (CIVE y VIVE)	MRI	ACS A	12	50%	Los grupos de ejercicio constante (Sentadilla pero variando intensidad) no crecen en RF (VICE) y VL y RF (CICE)
Franchi	2014	M	NS	Cuádriceps (VL)	Prensa	MRI	Volu men	14	Todo	En zona medial y distal crece más grupo excéntrico
Hakkinen	2001	F	0	Cuádriceps	<i>Leg extension</i> y prensa	MRI	Volu men	21	Todo	VL crece en zona centro (7/15-12/15), VM en proximal (3/15-8/15), VI en central (5/15-9/15) y RF en central (9/15)
Hakkinen	2003	M	NS	Cuádriceps	<i>Leg extension</i> y prensa	MRI	Volu men	21	Todo	Sin diferencias en el aumento de volumen. Una de las regiones no creció y el resto no se comparan entre ellas. No se comparan diferencias entre cabezas
Higbie	1996	F	Bajo (no específi ca)	Cuádriceps	<i>Leg extension</i> isocinético	MRI	Volu men y ACS A	10	Cada 10% de longitud de fémur	Crece zona centro-distal (4/10-5/10-6/10-7/10)
Housh	1992	M	0	Tríceps braquial, bíceps braquial, cuádriceps e isquiosurales	Extensiones y flexiones en máquina isocinética	MRI	Volu men	8	55%, 70% y 85% en bíceps y tríceps, 33%, 50% y 67% en cuádriceps e isquios	Tríceps crece en proximal y medial, bíceps en todas las regiones, crece RF en 3 regiones y VL en la medial. Isquiosural crece semitendinoso 3 regiones y bíceps femoral región central
Kanehisa	2002	M	0	Tríceps braquial	Extensión de tríceps en máquina especial	MRI	ACS A Y VOL UMEN	10	Todo	Crecimiento máximo cerca del 30%-50% pero el resto no crece
Kawakami	1995	M	Experie nced	Tríceps braquial	Press francés	MRI	ACS A, PCSA y volum en	16	Todo. MT se calculó al 40% de longitud de húmero	Crece la zona central (40%), pero no proximal y distal, NO se hacen comparativas entre regiones.
Kojic	2022	M/F	NS	Cuádriceps	Sentadilla	US	ACS A	7	Una región, distinta en cada músculo (3/5)	Sin diferencias entre aumento de ACSA entre cabezas. Solo se mide una región y con una técnica validada pero diferente

										en RF y VL, y otros en VM y VI)	
Kubo	2006	M	NS	Cuádriceps	<i>Leg extension</i> isométrico	MRI	Volumen	12	Todo		Sin diferencias en el aumento de volumen entre cabezas, ni en el grupo que trabajaba a longitudes largas ni cortas
Lundberg	2019	M/F	0 (Recreational)	Cuádriceps	<i>Leg extension</i> Flywheel y normal	MRI	Volumen y ACS A	8	Proximal y distal		Crece RF más que el resto de cabezas en ambos grupos (flywheel y normal). En ambos grupos crece más la zona distal que la proximal (a punto de alcanzar significación (P=0.09), pero no alcanza)
Maeo	2018	M	0	Cuádriceps	<i>Leg extension</i> (Flywheel)	MRI	Volumen	10	Todo		En grupo excéntrico crece más RF que el resto de cabezas
Maeo	2021	M	NS	Isquiosurales	Curl femoral (Sentado o tumbado)	MRI	Volumen	12	Todo		Curl sentado crece más en general, Biceps femoral proximal crece más que distal en sentado y ambos crecen más que tumbado, Semitendinoso proximal crece más en sentado y distal crece más tumbado
Maeo	2022	M/F	0	Tríceps braquial	Extensión de tríceps normal y overhead	MRI	Volumen	12	Todo		Extensión <i>overhead</i> crece más en general
Mangine	2018	M	2	Cuádriceps (VL, RF)	Sentadilla, peso muerto, lunge y prensa	US	MT y ACS A	8	30%, 50% y 70%		VL crece más que RF, sin diferencias entre regiones
Martins-Costa	2021	M	0 (Recreational)	Pectoral mayor y tríceps braquial	Press banca	MRI	ACS A	10	20%, 50% y 80% de distancia entre clavícula y húmero para pectoral mayor y de longitud de húmero para tríceps braquial		Sin diferencias entre regiones ni grupos en pectoral (crecen los dos). En tríceps crece zona distal (80%) en grupos con repeticiones de 3" y 6" de duración
Matta	2011	M	0	Bíceps braquial y tríceps braquial	Press banca, jalon, extensión en polea alta, curl con mancuerna	US	MT	12	50%,60%,70%		Bíceps: crece zona proximal (12%) significativamente más que la distal (4,7%). Tríceps sin diferencias entre regiones.
Matta	2015	M	0 (Recreational)	Cuádriceps	<i>Leg extension</i> normal e isocinético	US	MT	14	50% (30%)	(VM)	En convencional crece RF exagerado, en isocinético todos crecen igual
McMahon	2013	M/F	0 (Recreational)	Cuádriceps (VL)	Sentadillas con barra, leg press, <i>leg extension</i> y sentadilla búlgara	US	ACS A	8	25%, 50% y 75%	Y	Crece todas las regiones, en el grupo de longitudes largas la región del 75% crece significativamente más. El cuádriceps crece más en Longitudes largas en total.

McMahon	2014	M	0 (recreati onal)	Cuádriceps (VL)	Sentadillas con barra, leg press, leg extensión y sentadilla búlgara	US	ACS A	8	25%, 75%	50%	En longitudes largas sólo crece zona 75%, pero el resto casi consigue ser significativo. En longitudes cortas no crece ninguna región.
Narici	1989	M	0 (recreac ional)	Cuádriceps	Leg extension isocinético	MRI	ACS A	8	20%,30%,40% ,50%,60%,70% y 80%		Todos crecen más en zona proximal/medial salvo VM que crece más a distal
Narici	1996	M	0 (recreac ional)	Cuádriceps	Leg extension	MRI	ACS A	24	30%,40%,50% ,60% y 70%		Crece sobre todo RF y en la parte distal, no se ve un patrón en el resto
Noorkoiv	2014	M	0	Cuádriceps	Leg extension	MRI	ACS A Y VOL UME N	6	Todo		Solo crece al trabajar en longitudes largas de músculo (RF entero, VL medial VL proximal y distal)
Pedrosa	2021	F	0	Cuádriceps	Leg extension	US	ACS A	12	40%, 60% y 70%	50%	Movimiento parcial con la rodilla más flexionada (100°-65°) sobre todo crece más que todo el resto en 70% y más que otros 3 grupos en 50% y 60%. El parcial final (65°-30°) no crece más que control
Pedrosa	2023	F	0	Bíceps braquial	Preacher curl (región inicial y final del movimiento)	US (camp o de visión exten dido)	ACS A	8	50% y 70%		Al hacer la parte inicial del movimiento del preacher curl crece la región de 70% de longitud de húmero (distal). Sin diferencias en los otros.
Roman	1993	M	0	Bíceps braquial y músculo Braquial	Curl con mancuerna, barra, martillo y en máquina isocinética	MRI	ACS A Y VOL UME N	12	Todo		Mayor hipertrofia en zona distal, sin diferencias en zona proximal
Sato	2021	M/F	0	Bíceps braquial	Preacher curl (parte inicial o final)	US	MT	5	50%,60%,70%		Parte distal solo crece en RoM elongado. Las otras dos regiones sin diferencias.
Seynness	2007	M/F	0	Cuádriceps	Leg extension (Flywheel)	US	ACS A	5	25% y 50%		Crece todos en todas las regiones salvo VI en 50%
Smith	1995	M/F	0	Cuádriceps	Leg extension	CT	ACS A	20	25% y 75%		Crece zona 25%
Tracy	1999	M/F	0	Cuádriceps	Leg extension (Keiser)	MRI	VOL UME N	9	Todo		Crece más zona medial
Varovic	2021	M	0-1	Cuádriceps	Leg extension	US	MT	8	30%,50%,70%		El grupo de dropset creció más en 2/3 regiones, 30% y 50%, en el VL sin diferencias entre grupos
Wakahara	2011	M	0	Tríceps braquial	Press francés	MRI	ACS A	12	Todo		Ante press francés crece más región medial y proximal, lo mismo que pasa en el EMG intramuscular

Wakahara	2013	M	0	Tríceps braquial	Spoon press	MRI	ACS A	24	Todo	Más crecimiento en zona medial que en proximal del tríceps
Wakahara	2015	M	0	Cuádriceps	<i>Leg extension</i>	MRI	ACS A	12	Todo	Crece RF, la parte distal
Zabaleta-Korta	2021	M	+2	Cuádriceps (VL, RF)	Leg/SMTH	US	ACS A	5	30%,50%,70%	Ante LEG crecen 3 regiones de RF, ante SMTH crece región medial de cuádriceps
Zabaleta-Korta	2023	F	+0,5	Bíceps braquial	PRED/INC	US	MT	9	50%,60%,70%	Ante PRED crece parte distal

De los 46 estudios, 42 hallaban diferencias en el modo en el que crecían las diferentes partes del músculo, es decir, hallaban hipertrofia regional ya sea porque unas cabezas del músculo crecían más que otras o porque una región de un músculo crecía más que otra. Un estudio (Buckner et al., 2021) no realizaba un análisis estadístico que nos permitiese inferir si hubo diferencias en el crecimiento de las regiones del músculo, pero por la gran diferencia en los hallazgos de las diferentes regiones, podemos suponer que sí. Finalmente 3 estudios no hallan diferencias en el crecimiento de las regiones de un músculo, es decir, no hallaron hipertrofia regional (Drummond et al., 2016; Kojic et al., 2022; Kubo et al., 2006).

A continuación, enumeraremos algunas tendencias que se repiten en varios artículos:

1.2.7.1 El caso leg extension: crecimiento de los músculos biarticulares en ejercicios monoarticulares

El caso del *leg extension* es único en la literatura científica de la hipertrofia regional. De los 45 artículos que analizan directamente la hipertrofia regional, 22 lo hacen usando para ello el *leg extension*. Aunque los resultados no coinciden en todos los detalles (probablemente porque se utilizan diferentes variantes de *leg extension*: isocinético, excéntrico, diferente número de repeticiones o cadencia) hay un resultado que se repite en 13 de los 22 estudios: el crecimiento del RF. En muchos de los estudios en los que no se ha hallado este resultado, no se hacían comparativas entre cabezas y por ende no sabemos si el RF creció más que el resto de cabezas o no (este es el caso de 5 estudios (Häkkinen et al., 2003; Higbie et al., 1996; Housh et al., 1992; Roman et al., 1993; Tracy

et al., 1999)), en otros el *leg extension* se realizaba en combinación con otros ejercicios y por lo tanto los resultados pueden haberse visto influidos por otros ejercicios (McMahon et al., 2014; McMahon et al., 2014), y en otro simplemente no se hallaron diferencias (Kubo et al., 2006). Esto nos hace pensar que el *leg extension* tiene alguna propiedad que hace que el RF se estimule más que otras cabezas del cuádriceps.

La respuesta a este enigma puede hallarse en otro estudio de hipertrofia regional. En el año 2011 Wakahara y colaboradores analizaron el efecto que un ejercicio monoarticular (el press francés) tenía sobre el tríceps, y comprobaron que el crecimiento regional del tríceps se correspondía con su actividad mioeléctrica intramuscular (Wakahara et al., 2012). Los autores observaron cómo la región del tríceps que más crecía era la proximal y medial, que corresponden sobre todo a la cabeza larga del tríceps según los autores, que además estaba muy activa en el ejercicio. Dos años más tarde los autores replicaron el estudio con otro ejercicio multiarticular: una especie de press con mancuernas partiendo con las mancuernas juntas en el pecho (Wakahara et al., 2013). Los autores encontraron que sólo creció la zona medial del tríceps, la zona proximal que corresponde a la cabeza larga no creció y además estaba menos activa que las otras.

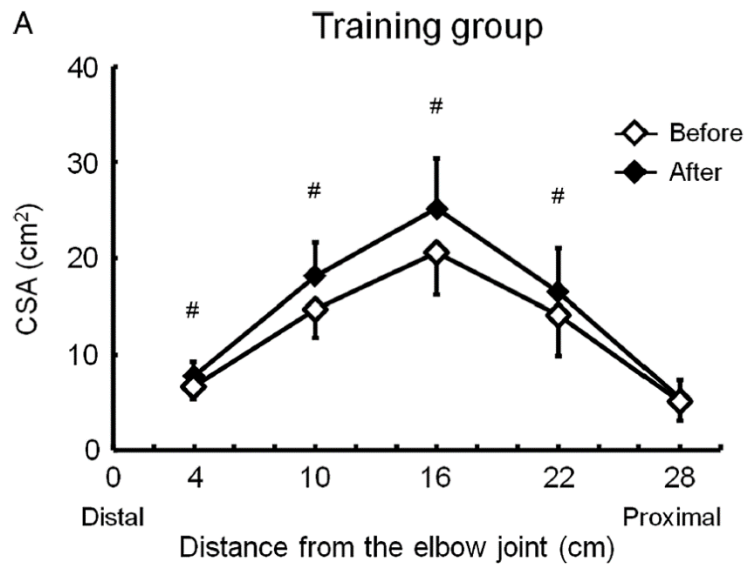


Figura 23: Crecimiento del tríceps de zona distal (izquierda) a proximal (derecha). # Indica un valor significativamente distinto al medido antes del inicio de la intervención (Fuente: Wakahara 2011).

En línea con estos hallazgos, recientemente otro estudio que analizaba el efecto del press banca, el press francés y ambos en combinación encontró que el press francés hacía crecer sobre todo la cabeza larga, mientras que el press banca o el press banca en combinación con el press francés beneficiaba sobre todo la cabeza lateral (Brandão et al., 2020). Otro estudio que analizaba el impacto de dos ejercicios monoarticulares para tríceps también halló que en ambos la cabeza larga también era la que más crecía (Maeo et al., 2022).

A esto debemos sumarle que en otros estudios que comparan el crecimiento del cuádriceps después de ejercicios compuestos y el *leg extensión* (Zabaleta-Korta et al., 2021), durante el *leg extensión* crecía el RF y en respuesta a ejercicios compuestos, no (Earp et al., 2015; Fonseca et al., 2014). Esto tiene cierto sentido biomecánico por el rol flexor que cumple el RF en la cadera. Si el RF contribuyese en gran medida durante una sentadilla estaría ofreciendo una resistencia añadida a los extensores de cadera, por eso su actividad se mantiene baja y por ende también su contribución a este ejercicio.

Algunos estudios parecen indicar que no siempre es así. Por ejemplo, Kawakami y colaboradores (1994) hallaron que sólo crecía la zona media en respuesta al press francés, pero no realizaron comparativas entre regiones, por lo que el significado de estos hallazgos no está claro.

1.2.7.2 Zona distal y entrenamiento en longitudes largas

Otro patrón que está ganando fuerza entre los estudios de hipertrofia regional es que cuando un ejercicio se realiza con el músculo elongado la región que más parece crecer es la distal, algo que se ha visto en varios músculos distintos (Davies et al., 2021; Earp et al., 2015; Franchi et al., 2014b; Maeo et al., 2021; Martins-Costa et al., 2022; McMahon et al., 2014; McMahon et al., 2014; Pedrosa et al., 2022, 2023; Sato et al., 2021; Zabaleta-Korta et al., 2023). En todos estos estudios el trabajo en longitudes musculares largas dio como resultado que crezca la zona distal del músculo. Es difícil determinar por qué ocurre esto aunque en el caso de los flexores de codo por ejemplo podría deberse al hecho de que en esta región se encuentra el músculo braquial que podría verse estimulado por esta clase de ejercicios y aumentar el tamaño en esta región del brazo. Otra explicación plausible es la de los “compartimentos intramusculares”. Según algunos estudios dentro de cada músculo tenemos diferentes “compartimentos” que podrían tener un rol funcional distinto. En un estudio de Earp y colaboradores (2015) se sugiere que la zona distal del músculo crece debido a que esto mejora el brazo de momento de algunos compartimentos y al hecho de que esta región es más rígida y por eso aprovecha mejor las fuerzas elásticas. Esto tendría sentido porque al trabajar en longitudes largas, el cambio de dirección de la parte excéntrica del ejercicio a concéntrica del músculo se realizaría bajo mucha tensión

y dependería en gran medida de la fuerza elástica para comenzar la parte concéntrica de forma efectiva.

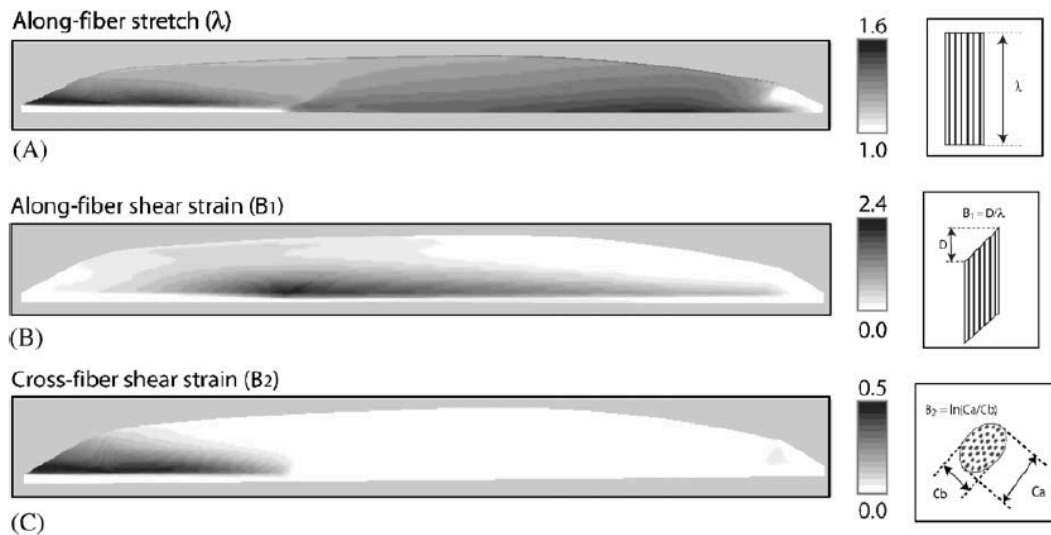


Figura 24: Algunos reportes como este de Blemker (2005) (Blemker et al., 2005) basado en un modelo matemático, sugieren que las fuerzas no se distribuyen de igual manera dentro del músculo, lo que podría demostrar que existen "compartimentos" musculares que otros modelos animales ya reportan (Brainerd & Azizi, 2005) (Fuente: Blemker 2005).

Sin embargo, otros estudios parecen contradecir estos hallazgos. En estos estudios, diferentes ejercicios realizados con el músculo elongado dieron como resultado el crecimiento de otras regiones distintas, o al menos la región que más creció no fue la distal (Chaves et al., 2020; Davies et al., 2021; Kawakami et al., 1995; Maeo et al., 2021, 2022; Wakahara et al., 2012). De todas formas, en algunos de estos estudios, los hallazgos entran en conflicto con otro patrón que hemos visto previamente. En particular, en el estudio de Wakahara y colaboradores (2021) y Maeo y colaboradores (2022) la zona proximal fue una de las que más creció porque es ahí donde se encuentra la cabeza larga, que crece por las causas explicadas en la anterior sección.

En el estudio de Maeo y colaboradores (2021), en la variante de curl femoral sentado donde el isquiosural trabaja en elongación, una cabeza crece en zona proximal y otra en zona distal y por eso figura tanto entre los estudios en los que la zona distal crece en respuesta longitudes largas de músculo como en los que no.

Sección 1.3:

Objetivos e hipótesis

Sapere Aude; Atrévete a saber. (Lucio Anneo Séneca)

1.3.1 Objetivos generales

- Estudio 1: Determinar si la hipertrofia regional del músculo existe, y explorar las vías que la explican en la evidencia científica existente
- Estudio 2: Analizar la influencia de la selección de ejercicios en la hipertrofia regional
- Estudio 3: Evaluar la influencia del tipo de resistencia en la hipertrofia regional

1.3.2 Objetivos específicos

- *Estudio 1*
 - Conocer si la hipertrofia regional existe en sujetos sanos deportistas
 - Usar sólo estudios de alta calidad
 - Mediciones con MRI
 - Más de 4 semanas
 - Al menos 2 regiones
 - Artículos sólo en inglés
 - Buscadores PubMed y Scopus

- Tratar de identificar posibles tendencias en la hipertrofia regional
 - En artículos previos que analicen el mismo músculo
- *Estudio 2*
 - Testar si el uso de ejercicios concretos influye en la hipertrofia regional del músculo cuádriceps
 - En ejercicios de cadena cinética cerrada/abierta
 - Método de medición en 2D (ultrasonidos)
 - Control mediante vídeos
 - Usar sujetos hombres experimentados y con una duración de 8 semanas
 - Al menos dos años de experiencia entrenando pesas
 - Familiarizados con los ejercicios del estudio
 - Utilizar ejercicios con resistencias distintas y distintas características
 - Cadena cinética abierta y cerrada
 - Resistencia ascendente vs constante
- *Estudio 3*
 - Testar si un mismo ejercicio con diferente resistencia puede provocar una hipertrofia regional distinta en dos grupos de sujetos
 - Mismo diseño que en el anterior estudio
 - Muestra de mujeres experimentadas
 - Al menos 6 meses entrenando pesas
 - Medición de grosor con ultrasonidos (1 dimensión)
 - Control mediante vídeos

- Evaluar si los músculos del tren superior tienen patrones distintos a los del tren inferior en cuanto a hipertrofia regional se refiere
- Comparar con artículos previos en tren inferior

Para facilitar la comprensión del diseño de los estudios y su relación con los objetivos, se puede observar el siguiente diagrama:

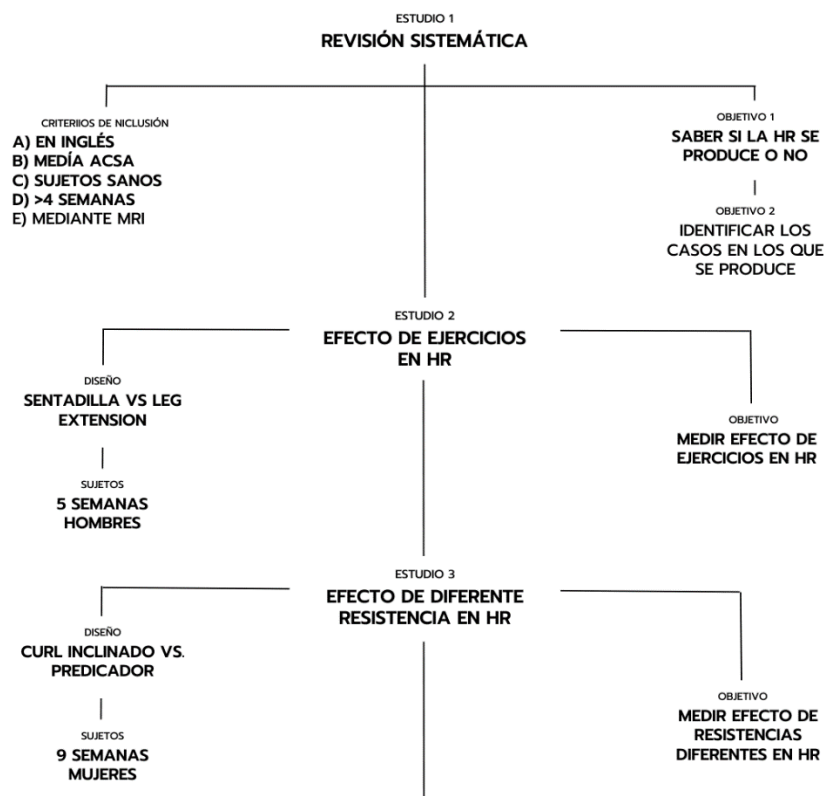


Figura 25: Objetivos de cada estudio y su diseño (Elaboración propia).

1.3.3 Hipótesis

- *Estudio 1*
 - La hipertrofia regional existe y podemos medirla utilizando el MRI. Se espera que al se vean diferencias significativas entre regiones ($p < 0.05$).

- La hipertrofia regional puede explicarse con base a los ejercicios que se usan para entrenar un músculo.

- *Estudio 2*
 - La selección de ejercicios influye en la hipertrofia regional porque cada ejercicio expone al músculo a un tipo de estrés diferente
 - La zona distal de los vastos crecerá en respuesta al *leg extension* pero no en respuesta a la sentadilla en máquina Smith (diferencia de 5% entre regiones, $p < 0.05$)
 - El recto femoral crecerá en respuesta a la sentadilla en máquina Smith pero no en respuesta al *leg extensión* (diferencia de 5% entre regiones, $p < 0.05$)

- *Estudio 3*
 - La resistencia del ejercicio es la que determina el estrés que sufrirá el músculo, y por ende influye en la hipertrofia regional del músculo
 - La zona distal (70% de la longitud de húmero) crecerá más que la zona proximal (10% de diferencia, $p < 0.05$)
 - La zona distal (70% de la longitud de húmero) del grupo PRED crecerá más que la zona distal del grupo INC (10% de diferencia, $p < 0.05$).

- La zona proximal del grupo INC (50% de la longitud de húmero) (10% de diferencia, $p < 0.05$) crecerá más que la zona proximal del grupo PRED

Sección 1.4:

Resumen de los resultados y discusión

“Nada en la vida es para ser temido, es sólo para ser comprendido. Ahora es el momento de entender más, de modo que podamos temer menos” (Marie Curie)

1.4.1 Artículo 1

Resultados

La estrategia de búsqueda dio como resultado 1069 artículos y otros 21 fueron añadidos posteriormente a leer las referencias de los primeros. Tras quitar 249 duplicados, 38 estudios fueron identificados como potencialmente relevantes para la revisión y de aquellos, 14 superaron los criterios de inclusión. Las razones para excluir los artículos que se seleccionaron en primera instancia fueron: a) sujetos enfermos o lesionados b) intervención más corta que 4 semanas c) no se medía o no se reportaba el ACSA o d) sólo se reportaba el ACSA de una región. La muestra fue de 254 sujetos (159 hombres y 95 mujeres) con un rango de edad de entre 20 y 29 años.

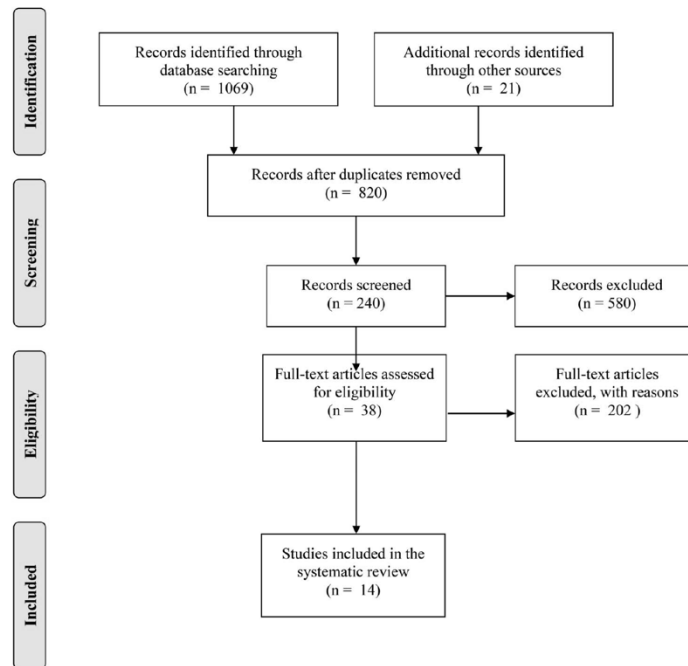


Figura 26: Diagrama de Flujo que muestra el proceso de selección de los artículos incluidos en la revisión sistemática.

4 de los 14 estudios tuvieron un nivel de evidencia 1b según los niveles de evidencia de Oxford (estudios controlados aleatorizados de alta calidad). 6 de 14 tuvieron un nivel de evidencia 2b (estudio de cohortes o estudios controlados aleatorizados de baja calidad). Los 4 estudios restantes tuvieron un nivel de evidencia 3b (control de estudios de caso). Las escalas PEDro fueron en promedio 4.035 ± 1.3 en un rango de 3 a 6.

Tabla 2: Tabla que resume puntos de la escalal PEDro (primeras 8 columnas) y nivel de evidencia en la escala Oxford (Primera columna desde la derecha) Evidencia que indica la existencia de hipertrofia regional.

Study	1	2	3	4	5	6	7	8	Total	Nivel de evidencia
Drummond et al. (2016)	Si	0	0	0	1	1	0	1	3	2b
Ema et al. (2013)	Si	1	0	1	1	1	1	1	6	1b
Franchi et al. (2014)	Si	1	0	1	1	1	1	1	6	1b
Higbie et al. (1996)	Si	1	0	1	1	1	1	1	6	1b
Hisaeda et al. (1996)	Si	1	0	0	1	1	1	1	5	3b
Housh et al. (1992)	Si	0	0	0	1	1	1	0	3	3b
Kawakami (1995)	Si	0	0	0	1	1	0	1	3	2b
Melnyk et al. (2009)	Si	0	0	0	1	1	0	0	2	2b
Narici et al. (1989)	Si	0	0	0	1	1	0	1	4	3b
Narici et al. (1996)	No	0	0	0	1	1	1	1	4	3b
Seynnes et al. (2007)	Si	0	0	1	1	1	0	1	4	2b
Valamatos et al. (2018)	Si	0	0	0	1	1	1	1	4	1b
Wakahara et al. (2013)	Si	0	0	1	1	1	0	1	4	2b
Yasuda et al. (2015)	Si	0	0	0	1	1	0	1	3	2b
Total									4.035	

Items en la escala PEDro 1 = criterios de elegibilidad fueron especificados; 2 = asignación aleatoria de sujetos a un grupo; 3 = la asignación fue oculta; 4 = los grupos eran similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes; 5 = las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos; 6 = se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por “intención de tratar”; 7 = los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave; 8 = el estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave.

Diferencias en el crecimiento de las diferentes cabezas dentro del músculo

6 de los 14 estudios incluidos en esta revisión hallaron diferencias en el crecimiento de las cabezas de un músculo en respuesta a los diferentes ejercicios. 3 estudios hallaron que el RF crece más en respuesta al ejercicio *leg extension* ejecutado de manera convencional (Ema et al., 2013b; Hisaeda et al., 1996; Narici et al., 1989).

Diferencias en el crecimiento dentro de una cabeza

De 14 estudios, 13 hallaron diferencias en el crecimiento de una cabeza muscular en unas regiones respecto a otras. La tendencia más clara en estos estudios es que la zona distal del músculo o de la cabeza analizada crece en respuesta a entrenamiento excéntrico (Franchi et al., 2014b; Higbie et al., 1996; Valamatos et al., 2018a; Yasuda et al., 2015). Un estudio no halló hipertrofia regional (Drummond et al., 2016).

Tabla 3: Estudios incluidos, número de sujetos, edad promedio de los sujetos, experiencia de los sujetos y desenlace principal del estudio.

Estudio	Número (M/F)	Edad (Años)	Experiencia entrenando (Años)	Desenlace principal
Drummond et al. (2016)	11(11/0)	21.8±1.62	No reportado	Sin diferencias significativas entre regiones después de 12 semanas de entrenamiento de bíceps.
Ema et al. (2013)	21(21/0)	27±2	No experiencia	Hipertrofia distinta entre cabezas y dentro de las propias cabezas tras entrenamiento unilateral de 12 semanas (<i>leg extension</i>)
Franchi et al. (2014)	12(12/0)	25±3	No experiencia	Hipertrofia en la parte distal del cuádriceps tras 12 semanas de <i>leg press</i> excéntrico
Higbie et al. (1996)	60(0/60)	21.5±1.6	No reportado	<i>Leg extension</i> unilateral excéntrico genera hipertrofia de la parte distal del cuádriceps
Hisaeda et al. (1996)	12(0/12)	20.1±1.5	No experiencia	Entrenamiento “de fuerza” y “de hipertrofia” genera una hipertrofia regional distinta
Housh et al. (1992)	13(13/0)	25.1±6.1	No experiencia	Hipertrofia de RF y parte medial de VL y VI en respuesta a <i>leg extension</i> isocinético
Kawakami (1995)	5(5/0)	29±4	No reportado	Aumento todo el cuádriceps salvo en la región más distal y más proximal
Melnyk et al. (2009)	43(22/21)	25.5±2.5	No experiencia	Patrón de hipertrofia y atrofia irregular en sujetos mayores y jóvenes tras entrenamiento y desentrenamiento
Narici et al. (1989)	4(4/0)	28.3±5.1	No reportado	Diferencias en la hipertrofia de regiones tras entrenamiento isocinético
Narici et al. (1996)	7(7/0)	29.0±3.6	No reportado	Diferencias en la hipertrofia de regiones tras entrenamiento convencional
Seyness et. al (2007)	13(11/2)	20±2	No experiencia	Diferencias en el inicio de hipertrofia entre cabezas y dentro de las propias cabezas
Valamatos et al. (2018)	19(19/0)	21.6±3.5	No experiencia	Entrenamiento isocinético de RoM parcial y total genera hipertrofia de zona distal del cuádriceps
Wakahara et al. (2013)	24(24/0)	26.9±3.4	No experiencia	Activación interna del cuádriceps y aumento de ACSA mayor en la zona medial del cuádriceps que en proximal
Yasuda et al. (2015)	10(10/0)	22±2	No reportado	Flexión de codo excéntrica en BFR genera mayor hipertrofia de la zona distal del bíceps

Discusión

Puesto que el músculo es un ente que no para de adaptarse a las demandas del medio, es posible que consiga esto mediante una diferente adaptación estructural de una región; dicho de otro modo, es posible que algunas adaptaciones estructurales se den en algunas regiones y en otras no, por ejemplo, el ángulo de pennación de algunas regiones podría aumentar más en algunas regiones que en otras, cosa que ya ha sido demostrada en algunos estudios (Ema et al., 2013b). Esta idea se ve reforzada por algunas investigaciones que sugieren que diferentes regiones de un músculo podrían tener diferentes funciones (Castanov et al., 2019), de hecho en el estudio citado los autores dividen el VM en Vasto Medial Oblicuo (VMO) y Vasto Medial Largo (VML). Si dichas regiones tienen funciones distintas es posible que sobre ellas existan diferentes grados de tensión mecánica, una teoría muy atractiva sobre la que ya se ha especulado en artículos posteriores (Earp et al., 2015).

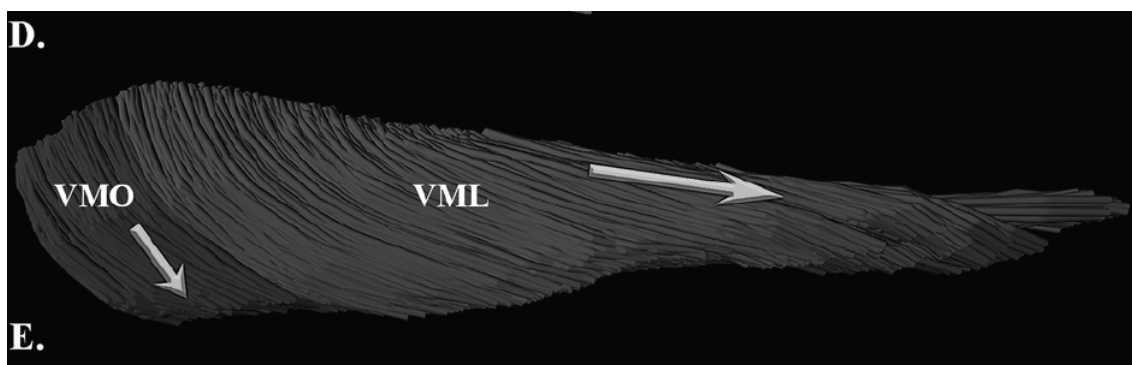


Figura 27: Imagen de VMO y VML según Castanov (2019) (Castanov et al., 2019).

También existen algunos modelos animales que sugieren que probablemente haya “vías” intramusculares por las que pasa más tensión y por ende podría hipertrofiarse más (Huijing & Baan, 2001). Huijing y Baan (2001) hallaron que la fuerza medida en el tendón proximal y distal de músculos de ratas cuando el músculo se contraía estimulado de manera externa era diferente (Huijing & Baan, 2001). Los autores sugieren que esto

podría deberse a “vías” intramusculares que hacen que determinadas regiones se contraigan con más fuerza. Otro estudio halló que la región distal de un músculo de la pierna en una especie de aves sufría el mayor grado de tensión mientras se elongaba, y los autores vieron que esta región tenía la longitud de sarcómero más corta (Carr et al., 2011) y probablemente por ello al elongarse generaba mayor tensión pasiva. Puesto que en teoría mayor tensión mecánica debería traducirse en mayor hipertrofia, esto explicaría el mayor crecimiento de esa región (B. J. Schoenfeld, 2010).

La respuesta a la hipertrofia regional también podría hallarse en los eventos moleculares que regulan la respuesta fisiológica a la tensión mecánica. Un estudio reciente halló que la fosforilación de las FAK es diferente en las diferentes regiones del músculo cuando se compara un ejercicio realizado de manera concéntrica y excéntrica. En particular la zona distal del VL tenía un nivel 4 veces mayor de pY397-FAK cuando se realizaba ejercicio excéntrico en comparación con ejercicio concéntrico (Franchi et al., 2017). De la misma forma los sujetos que realizaron el ejercicio excéntrico tuvieron un mayor crecimiento de longitud de fascículo, y los que realizaron ejercicio concéntrico un mayor aumento de ángulo de pennación. Una posible explicación para esto es que el ejercicio excéntrico genera mayor hipertrofia de la zona distal como ha sido demostrado en otros artículos (Higbie et al., 1996) mediante el aumento de la longitud de fascículos y mayores niveles de pY397-FAK en la zona distal.

Otros hallazgos nos sugieren que zonas distintas dentro de un músculo podrían tener diferentes longitudes de sarcómero (Herzog, 2018) y por ende algunas podrían tener una mayor superposición de filamentos de actina y miosina que otros (Herzog, 2018), lo que acarrearía una mayor tensión mecánica. Teniendo en cuenta estas diferencias

intramusculares en la longitud de sarcómero, algunas regiones sin duda generarían grados más altos de tensión en algunos puntos de los RoMs de los ejercicios que otros. Por lo tanto, cabría esperar que si trabajamos sólo en algunas regiones del RoM, se daría un tipo de hipertrofia regional específica de dicho RoM, pero curiosamente uno de los estudios incluidos en esta revisión no halló diferencias en hipertrofia regional realizada con diferente RoM (Valamatos et al., 2018a). Esto probablemente se deba al hecho de que hay más factores más allá del RoM que influyen en la tensión que sufre un músculo, o en la forma en la que crece.

Para poder explicar diferencias entre la hipertrofia de las cabezas de un músculo existen dos teorías principales: la primera defiende que algunas cabezas son biarticulares y otras no, y por ello, en determinados ejercicios como las sentadillas su activación sería contraproducente para el desempeño del sujeto en el ejercicio y por ello esas cabezas no generan grados altos de tensión, mientras sí lo hacen en ejercicios monoarticulares. Esta teoría parece explicar bien la relación entre el *leg extensión* y el RF. La segunda teoría defiende que algunas cabezas probablemente estén sufriendo insuficiencia pasiva (Gajdosik et al., 1994). Es decir, que cuando un músculo se estira por ambos extremos, la tensión que genere debe ser más alta por el hecho de que su grado de elongación es mayor y por ello opera en la curva descendente de la relación longitud-tensión.

El único estudio incluido en esta revisión que no halló diferencias en la hipertrofia regional de los músculos fue el estudio de Drummond y colaboradores (2016). Este estudio tuvo una serie de limitaciones que probablemente ha provocado que no se haya hallado hipertrofia regional. La más evidente tal vez sea la falta de sobrecarga progresiva

a lo largo de 12 semanas. En 12 semanas los sujetos no variaron el volumen que realizaban semanalmente y se sabe que la exposición constante a un mismo volumen puede hacer que la respuesta de un sujeto a él disminuya (Chen et al., 2007), al igual que ocurre con la intensidad, que tampoco varía a lo largo de la intervención en este estudio. Por lo tanto, es posible que esta falta de variedad hubiera provocado que los resultados no mostraran hipertrofia regional.

Esta revisión tuvo que hacer frente a muchas limitaciones. Para empezar, no existe mucha literatura científica que analice la hipertrofia regional. Muchos artículos no comparan las mediciones de ACSA aunque las reporten, porque están medidas con otros propósitos. El número de sujetos incluidos también era bajo, porque los artículos incluidos tampoco tenían una muestra grande. La mayoría rondaba los 10-25 sujetos, unos pocos tenían menos de 10 y sólo dos artículos superaban con holgura la barrera de los 25 sujetos. Los estudios incluidos en esta revisión sólo analizaban los músculos bíceps braquial, tríceps braquial y cuádriceps femoral, pero hace falta más investigación para saber si el fenómeno de la hipertrofia regional también ocurre en otros músculos.

En resumen, aunque la razón exacta por la cual la hipertrofia regional se da no está clara, pero es una realidad que ocurre en bíceps braquial, tríceps braquial y cuádriceps femoral. También hemos hallado una tendencia que muestra que el entrenamiento excéntrico del cuádriceps provoca crecimiento en la zona distal del mismo, probablemente por las diferencias en tensión halladas dentro de las diferentes regiones del músculo. Desafortunadamente aún falta mucha investigación para establecer patrones entre los diferentes tipos de entrenamiento y una hipertrofia regional concreta.

1.4.2 Artículo 2

Resultados

No se vieron diferencias en ninguna medida de ACSA o de ángulo de pennación previo al inicio de la intervención ($p > 0.05$). No se realizó análisis del VM porque las imágenes no tenían la claridad suficiente como para que se distinguiese el contorno de este músculo en el 50% de los sujetos.

- **Diferencias de crecimiento entre regiones**

Todas las regiones del RF crecieron en los sujetos del grupo LEG ($p = 0.015$; $p = 0.022$ y $p < 0.001$) pero ninguna alcanzó significación estadística en el grupo SMTH. En cuanto al VL, la región central del grupo SMTH creció de manera significativa ($p = 0.004$) y ninguna otra región de este grupo o del otro creció.

- **Diferencias de crecimiento entre grupos**

Cuando comparamos el crecimiento de una región en ambos grupos no encontramos diferencias ($p > 0.05$) y todos los tamaños del efecto eran pequeños ($p < 0.06$).

- **Ángulo de pennación**

El ángulo pennación no creció durante la intervención ($p > 0.05$).

- **Características antropométricas y fuerza**

Masa corporal, porcentaje graso y la altura de salto no fueron diferentes entre grupos antes de la intervención ($p > 0.05$), sin embargo después de la intervención la masa corporal ($p = 0.15$; IC 95% = -2.19, -0.28) y la altura de salto ($p = 0.01$; IC 95% = -2.41, -0.39) del grupo SMTH aumentaron mientras que los del grupo LEG permanecieron igual ($p > 0.05$).

Tabla 4: ACSA PRE y ACSA POST en ambos músculos y grupos por regiones.

Músculo	Grupo	Región	CSA pre (cm ²)	CSA post (cm ²)	% cambio
RF	SMTH	25%	13.3 ± 1.7	13.7 ± 2.6	3.0
		50%	11.6 ± 2.2	11.8 ± 2	1.2
		75%	6.2 ± 1.6	6.0 ± 1.1	-2.2
	LEG	25%	13.5 ± 2.0	14.7 ± 2.6*	9.0
		50%	11.8 ± 2.0	12.8 ± 2.1*	8.8
		75%	5.9 ± 1.8	7.0 ± 1.9*	19.7
VL	SMTH	25%	15.1 ± 2.0	15.7 ± 2.4	4.1
		50%	16.2 ± 2.1	17.2 ± 2.5*	6.0
		75%	13.3 ± 2.7	13.4 ± 2.4	0.7
	LEG	25%	15.1 ± 3.0	15.6 ± 2.7	2.8
		50%	15.9 ± 2.4	15.8 ± 2.3	4.3
		75%	12.5 ± 2.6	13.3 ± 2.6	6.5

RF, *rectus femoris*; VL, *vastus lateralis*; CSA, cross-sectional area.

*Significativamente distinto a PRE.

#Significativamente distinto comparado a la misma región del grupo SMTH.

Discusión

El mayor hallazgo de este estudio es que la selección de ejercicios tiene impacto sobre la hipertrofia regional. En particular el RF crece en respuesta al *leg extension*, ya que sus

regiones centrales y distales mostraban un aumento del área de sección transversal. Por otro lado, en respuesta a la sentadilla Smith, sobre todo crece la región central del VL y no se observa ningún cambio en el resto de regiones de los músculos analizados. El grupo SMTH también consiguió un aumento de la altura de salto comparado con el grupo LEG.

Estos resultados están en línea con algunos previos (Ema et al., 2013a; Hisaeda et al., 1996), en particular el crecimiento del RF en respuesta a ejercicio *leg extension*. Para explicar estos hallazgos, tenemos varias teorías posibles porque la causa de la hipertrofia regional sigue sin estar clara.

En primer lugar, sabemos que en *leg extension* no existe movimiento en la cadera así que esperábamos crecimiento en los músculos que no están asociados con la cadera: el VM y el VL, y ningún cambio en el RF. Curiosamente los hallazgos de este estudio muestran todo lo contrario. Una posible explicación para esto pueden ser las diferencias en activación dentro del RF. Se sabe que durante el *leg extension*, ejercicio que trabaja la extensión de rodilla (una de las funciones del RF), sobre todo se activa la zona distal del RF (la que más crecía en nuestro estudio) (Miyamoto et al., 2012). Pero al ejecutar ejercicios de flexión de cadera, la otra función del RF se activaba sobre todo en la zona más cercana a la cadera (Miyamoto et al., 2012). Esto podría deberse al hecho de que el mayor brazo de momento para el cuádriceps ocurre con la rodilla casi completamente extendida (Visser et al., 1990), momento en el que el cuádriceps no puede aplicar mucha fuerza, debido a que está muy contraído.

Esto acarrea que en muchas ocasiones ésta sea la parte más difícil del ejercicio, y tal vez debido a que el punto de mayor dificultad es aquel en el que el RF es más fuerte

encontremos que este crece más en respuesta al *leg extension*. Algunos autores reportan que esta relación entre fuerzas producidas y demandadas podría estar detrás de resultados como estos (Walker et al., 2013).

Contra esta teoría observamos que la respuesta de crecimiento del VL no fue tan grande como la del RF en este estudio. Esto tendría cierto sentido en el caso del grupo SMTH, porque en este ejercicio la resistencia más alta se produce cuando las rodillas están completamente flexionadas y el brazo de momento del VL es más bajo. De todas formas, el *leg extension* es un ejercicio que impone la demanda más alta donde el VL tiene mayor brazo de momento: cerca del final. Por lo tanto, si esta teoría explicara bien la hipertrofia regional, el VL debería crecer mucho en el *leg extension* y no lo hace. De ser cierta esta teoría, también cabría esperar que no creciese en respuesta al SMTH, pero sí lo hace. Por ello, la teoría de que una mayor exigencia donde el músculo es más fuerte debería explicar la hipertrofia regional, no es fiel a la realidad. O al menos es imposible que sea el único factor que explica la hipertrofia regional.

A tenor de los hallazgos actuales, queda claro que no sabemos con certeza por qué ocurre la hipertrofia regional, y probablemente los factores mecánicos por sí solos no puedan explicar la hipertrofia regional. De hecho, es posible que haya algunos factores que no podemos controlar que tengan una fuerte influencia en ella, como la edad, el sexo o la predisposición genética, aunque todavía no hay literatura suficiente para sacar conclusiones. Además, nuevos factores como el tiempo que dura cada fase de una repetición se plantean como posibles factores relevantes para la hipertrofia regional (Diniz et al., 2020b). Puesto que la ganancia de masa muscular es dependiente del

régimen en el que se trabaje (concéntrico o excéntrico) (Margaritelis et al., 2021), no es descabellado creer que en la hipertrofia regional pueda pasar algo similar.

Modelos animales han mostrado que diferentes regiones sufren un grado de estrés distinto en respuesta a un determinado ejercicio (Carr et al., 2011), probablemente porque esas regiones tenían una arquitectura muscular distinta y por ello hacían frente a la demanda de distintas maneras.

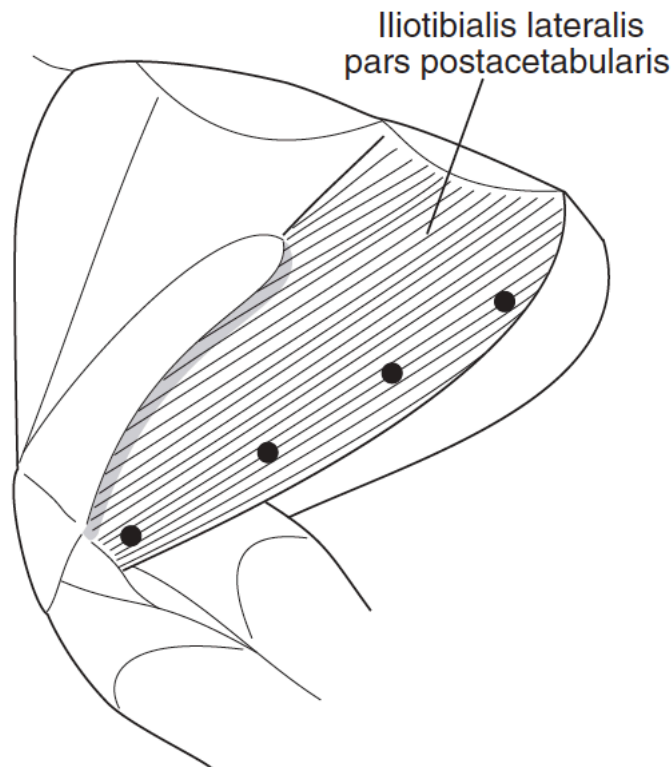


Figura 28: Modelo usado para medir la tensión en diferentes regiones de músculos de aves (Fuente: Carr 2011).

También cabe destacar que el grupo que realizó sentadillas en la máquina Smith mejoró la altura de salto de forma significativa, mientras que el grupo que realizó *leg extension* no lo hizo. Esto probablemente se deba al conocido como principio de especificidad. Se sabe que se gana fuerza en aquel gesto que se entrena, por lo tanto tiene sentido que las

personas que realizaron sentadillas en la máquina Smith, que emularon el gesto de salto en cada entrenamiento, hayan ganado mayor altura de salto que aquellas que hicieron *leg extension*.

Nuestro estudio tuvo que hacer frente a varias limitaciones. Para empezar, su duración fue muy corta: únicamente 5 semanas. Algunos estudios afirman que a las 3 semanas de empezar el entrenamiento ya podemos observar los primeros indicios de ganancia de masa muscular (Seynnes, de Boer, et al., 2007), pero tenemos la certeza de que una duración más larga habría provocado un mayor crecimiento del músculo. Esto tal vez hubiera hecho que algunas regiones crecieran lo suficiente como para alcanzar significancia estadística, por lo tanto es posible que parte del crecimiento haya pasado desapercibido por la duración del estudio. Pero debemos tener en cuenta que la duración fue particularmente corta porque en el momento de la intervención el gobierno cerró los gimnasios debido a un aumento de casos de la COVID-19.

Esta brevedad pudo haber perjudicado a los sujetos del grupo SMTH, que reportaron molestias en los cuádriceps mucho mayores a los del grupo LEG. Esto puede ser indicativo de que tuvieron un mayor daño muscular y por ello comenzaron a construir masa muscular mucho más tarde (Damas et al., 2018). Se sabe que las primeras semanas después del inicio de una actividad el daño muscular es tan elevado que no ocurre crecimiento. Si este período se prolonga como resultado de un ejercicio que genera un gran daño, puede ocurrir que las posibilidades de hallar crecimiento se vean reducidas por la corta duración del estudio. Sin embargo, al no tener mediciones específicas del daño muscular no podemos afirmar tal cosa, y solo las sensaciones de los sujetos no valen para afirmar que el daño muscular fuera superior en el grupo SMTH.

Otra posible limitación es que los saltos en el peso que levantaban los sujetos del grupo LEG eran muy altos y por ello algunos sujetos necesitaban más repeticiones para llegar al fallo muscular. De todas formas, algunos autores no hallaron diferencias en la hipertrofia muscular siempre que el entrenamiento fuera llevado al fallo (Baz-Valle et al., 2021). Por ello creemos que esta diferencia en repeticiones realizadas, debido al salto en pesos que levantaban los sujetos no tuvo influencia en los resultados del estudio.

A esto debemos sumarle que nuestro sistema de medición, los US, no es el más sensible para esta clase de estudio. El *gold standard* en estos casos suele ser la MRI. De todas formas, esperamos haber paliado esta diferencia eligiendo medir el ACSA en vez del MT. Además, existe una correlación muy alta entre el ACSA medido por MRI y el ACSA medido por US ($\rho = 0.88$) (Hacker et al., 2016).

Hay que considerar que los consejos dietéticos cumplieron su función, puesto que después de la intervención ni el peso, ni el porcentaje graso habían bajado y ambos grupos ganaron masa muscular.

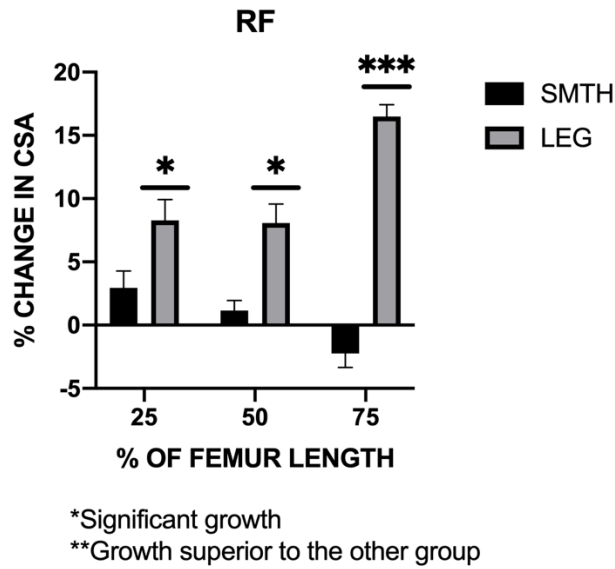


Figura 29: Crecimiento del RF en las 3 regiones. *Indica crecimiento; *** Indica crecimiento superior al otro grupo (Imagen de Zabaleta-Korta y colaboradores (2021)).

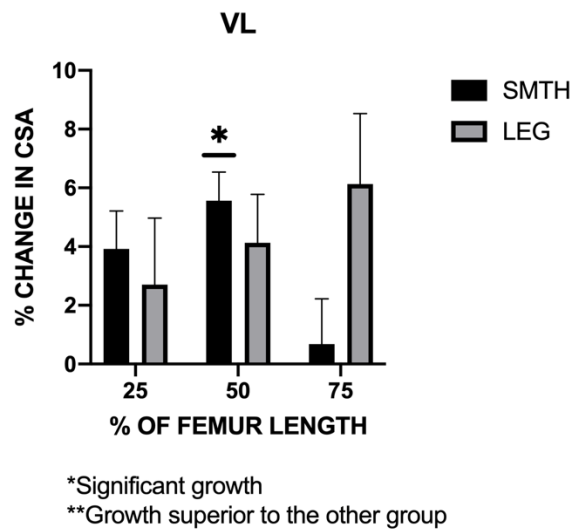


Figura 30: Crecimiento del VL en las 3 regiones. *Indica crecimiento; *** Indica crecimiento superior al otro grupo (Imagen de Zabaleta-Korta y colaboradores (2021)).

En resumen, este estudio confirma que la selección de ejercicios tiene un rol importante en la hipertrofia regional y aunque haya otros factores que también tengan un rol relevante en ella, el efecto de la selección de ejercicios es evidente. Basándonos en estos hallazgos

parece que el *leg extension* es el mejor ejercicio para preparar deportes en los que el RF se somete a una elevada demanda, mientras que la sentadilla en máquina Smith parece mejor idea para trabajar el VL o mejorar la altura de salto.

Finalmente hay que añadir que la publicación de este estudio generó un gran debate entre los autores del área. En particular hubo algunos autores reconocidos del área de hipertrofia regional que mostraron su desacuerdo con la metodología usada en el estudio. Este debate se condensó en una carta al editor que recibimos en septiembre de 2021 por parte de los autores Mendonça, Franchi y Torres da Matta (Mendonça Leitao et al., 2022), autores que han escrito mucho sobre la hipertrofia regional y por ello salen mencionados en numerosas ocasiones en la presente tesis doctoral.

En su carta, mencionan varios aspectos de nuestro artículo que a su parecer deberían haber sido tratados de diferente manera, con especial énfasis en la metodología utilizada para medir el ACSA. Mendonça y colaboradores consideran que poner la sonda de manera transversal en el músculo para medir el ACSA no es representativo del verdadero ACSA del músculo, puesto que no se ve la totalidad de este en la imagen que más tarde se usará para medir el crecimiento. En su lugar los autores proponen usar la técnica del campo de visión extendido o EFOV (Franchi et al., 2020) o pegar imágenes consecutivas hasta conseguir una visión global del músculo y poder realizar mediciones (Stokes et al., 2021).

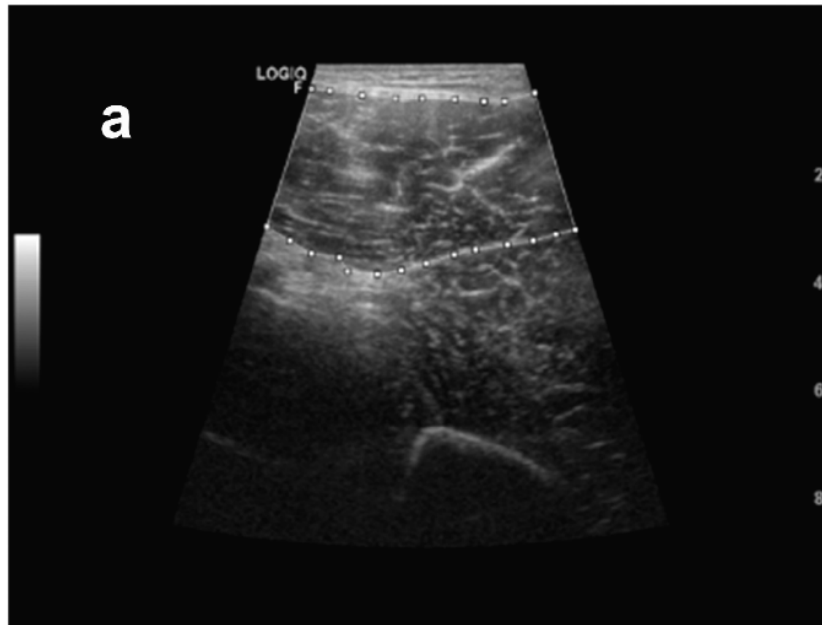


Figura 31: Imagen de cómo medimos el ACSA en nuestro estudio.

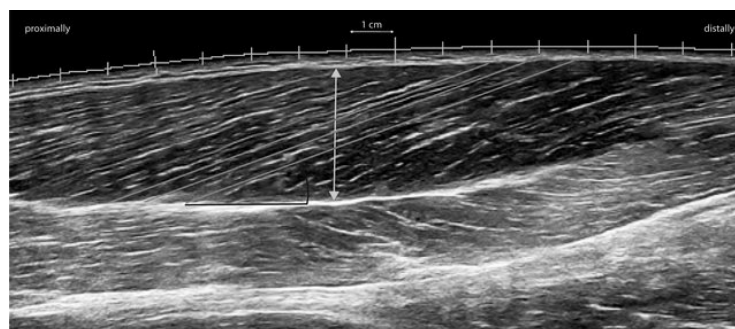


Figura 32: Medición del MT mediante el uso de la técnica EFOV (Marušič et al., 2020). Al permitir un campo de visión mucho más amplio, es muy útil para medir el ACSA (Imagen de Marušič y colaboradores (2020)).

Nosotros consideramos que este punto por parte de los autores es muy interesante. Sin embargo, como indicamos en nuestra contra-respuesta publicada pocos meses después (Zabaleta-Korta et al., 2022), los autores de la carta no tuvieron en cuenta el hecho de que debido a que se iba a medir una zona muy específica de cada cabeza del cuádriceps, fuimos muy cuidadosos y concienzudos a la hora de determinar la zona de la que se iban a adquirir las imágenes. De esta forma, y puesto que siempre se tomaban las imágenes

del mismo sitio, si el área del músculo que había en él había crecido significaría que se había dado un crecimiento. Nuestro método podría provocar que parte del crecimiento que había ocurrido no se registrase porque no salía en las imágenes, pero debido al protocolo usado para determinar la zona en la que se tomaban dichas imágenes no pudo haber ocurrido que se registrara como crecimiento algo que no lo fue, por el mero hecho de que las imágenes no se tomaron en el mismo sitio.

Los autores también inciden en que nuestro método no está validado y en este punto estamos de acuerdo. Aunque el método tenga sentido y sirva para su propósito urge un artículo que lo valide como método legítimo para medir el crecimiento muscular. Además, esta carta remarcó algunos errores cometidos por el equipo a la hora de tomar y analizar las imágenes para medir el ángulo de pennación, lo que hizo que planteáramos mejor los artículos posteriores.

Al final de su carta los autores destacan la importancia de la pregunta de investigación, pero insisten en que la metodología usada no es la mejor. Esta carta hizo que reflexionáramos mucho para el diseño de los siguientes dos artículos, y agradecemos a los autores el tono constructivo y esclarecedor de sus críticas, aunque en ocasiones estuvieran basadas en la falta de información (por ejemplo, no sabían el protocolo usado para determinar la posición de la sonda a la hora de tomar imágenes, porque este no estaba descrito en el artículo para reducir su extensión).

1.4.3 Artículo 3

Resultados

No hallamos diferencias en el porcentaje graso ($p = 0.18$) antes del inicio del estudio.

Análisis por grupos y regiones

El ANOVA de dos vías no mostró interacción por grupo ($p = 0.102$, $ES = 0.032$), región ($p = 0.370$, $ES = 0.024$) o grupo*región ($p = 0.544$, $ES = 0.015$). Por esta razón no se realizaron análisis *post-hoc*.

Análisis entre regiones

El T-Test para pruebas emparejadas no fue significativo para el grupo INC ($p = 0.95$, $ES = 0.019$; $p = 0.520$, $ES = 0.242$ y $p = 0.536$, $ES = 0.193$ en las regiones 50%, 60% y 70% respectivamente).

En la región 70% del grupo PREA se dio un crecimiento significativo ($p = 0.017$, $ES = 0.623$), pero al contrario no hubo crecimiento significativo en la región 60% ($p = 0.072$, $ES = 0.503$) o en la región 50% ($p = 0.347$, $ES = 0.263$).

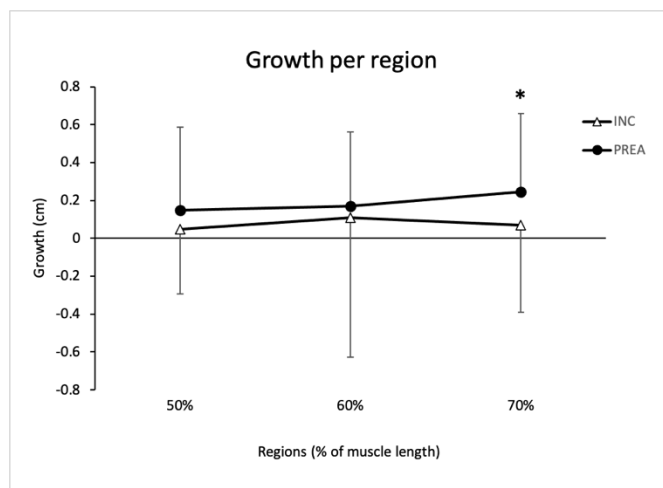


Figura 33: Crecimiento del músculo por regiones en el grupo INC y PREA (Imagen de Zabaleta-Korta y colaboradores (2023)).

Tabla 5: MT antes (PRE) y después (POST) por regiones y grupos (en cm).

	50% PRE	60% PRE	70% PRE	50% POST	60% POST	70% POST
INC	2.19 ± 0.28 [2.04-2.34]	2.3 ± 0.38 [2.09-2.51]	2.74 ± 0.43 [2.51-2.97]	2.24 ± 0.32 [2.06-2.41]	2.41 ± 0.23 [2.28-2.53]	2.81 ± 0.44 [2.57-3.05]
PREA	2.13 ± 0.34 [1.97-2.28]	2.32 ± 0.43 [2.14-2.53]	2.68 ± 0.43 [2.50-2.90]	2.27 ± 0.43 [2.07-2.47]	2.5 ± 0.38 [2.33-2.68]	2.94 ± 0.44 [2.74-3.14]*

INC, grupo de *inclined curl*; PREA, grupo de *preacher curl*. Los valores son medias ± SD [95% CI].

*Significativamente ($p < 0.05$) mayor a PRE.

Diferencias en el porcentaje graso

No se vieron diferencias en el porcentaje graso después de la intervención dentro del grupo INC ($p = 0.248$, $ES = 0.337$) ni dentro del grupo PREA ($p = 0.188$, $ES = 0.333$).

ICC

El coeficiente de correlación intra-clase para el técnico y el aparato de US utilizado en el estudio fue $ICC(3,1) = 0.98$, mostrando una alta fiabilidad entre resultados y mostrando que el protocolo usado en el estudio era fiable.

Discusión

El mayor hallazgo de este estudio fue que la región distal del brazo creció en respuesta al ejercicio con un perfil de resistencia descendente, mientras que el resto de regiones de ese grupo y todas las regiones del otro grupo no crecieron. Sin embargo, al comparar el crecimiento entre regiones no se vieron diferencias. Esto significa que mientras el análisis dentro de la propia región sugiere que el perfil de resistencia parece contribuir al crecimiento de una región concreta dentro del brazo, los resultados del análisis entre regiones muestran que podría haber otros factores que ejerzan influencia sobre la hipertrofia regional.

Existen varias razones por las cuales un perfil de resistencia descendente podría provocar el crecimiento de la zona distal del brazo. Nosotros planteamos tres posibles mecanismos. El primero, es el grado de elongación de los flexores de codo durante el ejercicio. La

evidencia científica sugiere que entrenar en longitudes musculares largas provoca un aumento de la longitud de fascículos (Wisdom et al., 2015b), lo que podría provocar que crezca la zona distal de los músculos. Algunos estudios muestran que tras entrenar en longitudes musculares largas la longitud de fascículo podría aumentar más que el crecimiento muscular (Valamatos et al., 2018b), y esto explica parcialmente por qué el aumento en MT de nuestro estudio fue tan pequeño. En este aspecto nuestros resultados están en línea con otros previos como el de Sato y colaboradores (2021) (Sato et al., 2021) que halló un aumento mayor del MT de la región distal del brazo (70% de la distancia entre el epicóndilo lateral y el acromion) tras realizar *preacher curl* en longitudes musculares largas mientras otro grupo las realizaba a longitudes cortas. Esto sugiere que cuando los músculos del brazo trabajan en longitudes largas la región distal se ve sometida a una tensión superior al resto.

El segundo mecanismo que proponemos hace referencia a la coordinación de los flexores de codo. El músculo braquial está más presente en la región distal que en la región proximal del brazo. Aunque la calidad de imagen de los US no permite discernir entre braquial y bíceps en las imágenes que hemos tomado, en el caso de algunos sujetos en los que la calidad era lo suficientemente buena se veía claramente que el braquial estaba presente en las imágenes de la región 70% mientras que no lo estaba en las imágenes de la región 50%. Probablemente trabajar en longitudes musculares largas estimula el braquial en mayor medida que el bíceps, y por eso hallamos mayor crecimiento en la región 70% comparado con la región 50%. Además, debido a la relación longitud-tensión, el gesto de flexión de codo no es muy efectivo a longitudes musculares largas (Ismail & Ranatunga, 1978) y por ello probablemente el *preacher curl* haya estimulado el flexor más fuerte: el braquial (Kawakami et al., 1994). Curiosamente, en otro artículo muy

reciente también se halló que tras trabajar en la zona inicial del recorrido del *preacher curl*, cuando los flexores del codo están estirados, sólo crecía la zona del 70% de longitud del húmero (Pedrosa et al., 2023). Un hallazgo que confirma nuestros resultados y los de Nosaka y Sakamoto (2001) (Nosaka & Sakamoto, 2001) y muestra que la respuesta de crecimiento de la parte distal de los flexores de codo no reside en el propio ejercicio, sino en el hecho de que la parte de mayor dificultad del ejercicio sea cuando los flexores de codo están estirados.

El tercer mecanismo es el de la “estrategia neural” para hacer frente a los requerimientos del ejercicio, puesto que algunos reportes nos muestran que podemos “elegir” el músculo que hace un gesto concreto (vía electromiografía de alta definición (Avrillon et al., 2021)). Si esto fuera extrapolable a las regiones de un músculo, es decir que cada región tenga un rol diferente en diferentes personas, el futuro de la hipertrofia regional pasará por analizar la interacción entre fuerzas mecánicas e inputs neurales (Alix-Fages et al., 2022).

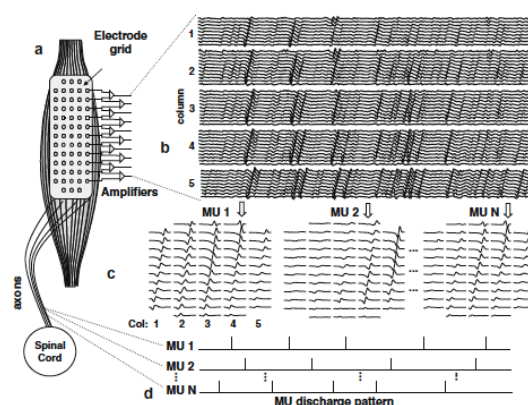


Figura 34: Imagen que muestra el funcionamiento del EMG de alta densidad (Marušič et al., 2020).

El resultado más sorprendente de este estudio es la falta de crecimiento en el grupo que realizó *inclined curl* (INC), pero hay que decir que este grupo, debido al alto abandono

que tuvo, corría un riesgo alto de error estadístico tipo II. Cada grupo necesitaba 19 participantes para alcanzar la potencia estadística suficiente para tener la sensibilidad necesaria de percibir cambios. Sin embargo, solo 13 participantes acabaron el estudio y esto pudo haber tenido un impacto significativo en los resultados. De todas formas, sorprende aún más que al comparar el crecimiento de las regiones, no se vean diferencias.

También sorprende que crezca solo una región y esta no tenga un crecimiento más prominente ($ES = 0.623$), ya que tuvo un crecimiento de aproximadamente un 10%. Detrás de este resultado tal vez se encuentre el método usado para medirlo. El músculo es un órgano en 3 dimensiones y como tal, puede crecer en 3 dimensiones. Por ello, el *gold standard* para medir su crecimiento es la MRI (Franchi, Raiteri, et al., 2018). Desafortunadamente, las MRI son difíciles de realizar y muy costosas. Por esa razón decidimos medir el MT con un aparato de US, que es una medición más barata y mucho más fácil de implementar. Pero como el MT es una medida en 1 única dimensión, tal vez hayamos pasado por alto parte del crecimiento del músculo.

Otra potencial fuente para la falta de crecimiento del grupo INC es la alta tasa de abandono. Como se ha mencionado antes, 6 mujeres abandonaron el estudio en el grupo INC frente a una única mujer en el grupo PREA. Este elevado abandono aumentó considerablemente el riesgo de error estadístico tipo II. De todas maneras, una investigación previa analizando un ejercicio con perfil de resistencia similar al usado en el grupo INC (Nunes et al., 2020) (máxima dificultad cerca de los 90° de flexión de codo) no halló diferencias tras 8 semanas de entrenamiento (Drummond et al., 2016). Por ello otra posible explicación para la falta de crecimiento del grupo INC puede ser que este tipo de resistencia no genera suficiente estímulo para el crecimiento de los flexores de

codito. Al contrario, el estudio de Nunes y colaboradores (2020) halló un 7% de crecimiento en el MT de los flexores de codo tras 8 semanas de entrenamiento. Estos resultados contradictorios implican que incluso cuando el perfil de resistencia de un músculo obliga a los flexores de codo a trabajar estando acortados (de esta forma disminuyendo el potencial para ganar masa muscular) se produce hipertrofia y por lo tanto debe haber más factores involucrados en la hipertrofia regional aparte del perfil de resistencia.

En un estudio reciente realizado por el mismo grupo y el mismo operador del aparato de US, la mayoría de mediciones que alcanzaron significación superaban el 10% de aumento de MT (Baz-Valle et al., 2019). Este estudio analizaba la hipertrofia en hombres, lo que pone sobre la mesa la influencia del sexo en el potencial para el crecimiento. Es sabido que las mujeres tienen menos masa muscular (Janssen et al., 2000) y por ello un menor potencial de crecimiento, al menos en términos absolutos. Analizar el bíceps puede haber disminuido más todavía el efecto de la intervención debido al reducido tamaño del músculo. Un tercer factor pudo haber sido la dilatada experiencia de algunas mujeres que tomaron parte en el estudio. Al ser tan experimentadas, tenían un menor potencial de crecimiento que si hubieran sido solo moderadamente experimentadas.

Este estudio tuvo que hacer frente a muchas limitaciones. Para empezar, el músculo es un órgano tridimensional (Franchi, Raiteri, et al., 2018) cuyo crecimiento tuvimos que medir en una única dimensión. Realizamos mediciones con US, que solo permiten medir MT o ACSA. Debido a que medir el ACSA es complejo y dependiente del técnico que realiza la medición (Hernández-Belmonte et al., 2022) y el MT tiene una gran correlación con el ACSA (Franchi, Raiteri, et al., 2018), decidimos que era una medida válida para evaluar

el crecimiento. El ICC muestra una gran fiabilidad en las mediciones, que puede verse en otros estudios también, confirmando que el MT es una buena forma de medir el crecimiento muscular (Franchi, Longo, et al., 2018; Palmer et al., 2015). De todas formas, no pudimos distinguir si el crecimiento observado era debido al bíceps o al braquial en las imágenes de muchos de los participantes, lo que dificultó mucho sacar conclusiones sobre la razón del aumento regional del MT.

En conclusión, parece que el crecimiento del músculo se ve afectado por el perfil de resistencia de éste, y por supuesto por la longitud en la que trabaja el músculo. Esto significa que las diferentes regiones de un músculo crecerán en respuesta a ejercicios que hacen que una zona u otra del rango de movimiento sea más difícil. En concreto, nuestros resultados muestran que la región distal del brazo crece en respuesta a ejercicios que imponen la mayor parte de la tensión en la zona de rango de movimiento en el que los flexores de codo están más elongados.

De acuerdo a los hallazgos de este estudio, el perfil de resistencia de un ejercicio cambia la forma en la que los músculos involucrados crecen. Por ejemplo, para intentar que la zona de los flexores de codo más cercana al codo crezca, la mejor opción parece ser usar ejercicios en los que el mayor grado de dificultad ocurre cuando los músculos están elongados. Esto es importante en deportes como el culturismo en los que el tamaño, la forma o la simetría de los músculos se evalúan en competición.

Sección 1.5:

Referencias

“Si he llegado a ver más lejos que otros es porque me subí a hombros de gigantes”

(Isaac Newton)

- Aagaard, P., Andersen, J. L., Dyhre-poulsen, P., Leffers, A., Wagner, A., Magnusson, S. P., Halkjær-kristensen, J., & Simonsen, E. B. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *Journal of Physiology*, 534(2), 613–623. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00613.x>.
- Ahn, A. N., Monti, R. J., & Biewener, A. A. (2003). In vivo and in vitro heterogeneity of segment length changes in the semimembranosus muscle of the toad. *Journal of Physiology*, 549(3), 877–888. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2002.038018>
- Alix-Fages, C., Del Vecchio, A., Baz-Valle, E., Santos-Concejero, J., & Balsalobre-Fernández, C. (2022). The role of the neural stimulus in regulating skeletal muscle hypertrophy. *European Journal of Applied Physiology*, 122(5), 1111–1128. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-04906-6>
- Argilés, J. M., Campos, N., Lopez-Pedrosa, J. M., Rueda, R., & Rodriguez-Mañas, L. (2016). Skeletal Muscle Regulates Metabolism via Interorgan Crosstalk: Roles in Health and Disease. *Journal of the American Medical Directors Association*, 17(9), 789–796. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2016.04.019>
- Asvat, R., Candler, P., & Sarmiento, E. E. (1993). High incidence of the third head of

- biceps brachii in South African populations. *Journal of Anatomy*, 182(1), 101–104.
- Avrillon, S., Del Vecchio, A., Farina, D., Pons, J. L., Vogel, C., Umehara, J., & Hug, F. (2021). Individual differences in the neural strategies to control the lateral and medial head of the quadriceps during a mechanically constrained task. *Journal of Applied Physiology*, 130(1), 269–281. <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.00653.2020>
- Bamman, M. M., Newcomer, B. R., Larson-Meyer, D. E., Weinsier, R. L., & Hunter, G. R. (2000). Evaluation of the strength-size relationship in vivo using various muscle size indices. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(7), 1307–1313. <https://doi.org/10.1097/00005768-200007000-00019>
- Barakat, C., Pearson, J., Escalante, G., Campbell, B., & De Souza, E. O. (2020). Body Recomposition: Can Trained Individuals Build Muscle and Lose Fat at the Same Time? *Strength and Conditioning Journal*, 42(5), 7–21. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000584>
- Baz-Valle, E., Fontes-Villalba, M., & Santos-Concejero, J. (2021). Total Number of Sets as a Training Volume Quantification Method for Muscle Hypertrophy: a systematic review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(3), 870–878. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002776>
- Baz-Valle, E., Schoenfeld, B. J., Torres-Unda, J., Santos-Concejero, J., & Balsalobre-Fernández, C. (2019). The effects of exercise variation in muscle thickness, maximal strength and motivation in resistance trained men. *PLoS ONE*, 14(12), 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226989>
- Beyer, I., Mets, T., & Bautmans, I. (2012). Chronic low-grade inflammation and age-related sarcopenia. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 15(1), 12–22. <https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e32834dd297>

- Bieler, T., Aue Sobol, N., Andersen, L. L., Kiel, P., Løfholm, P., Aagaard, P., Magnusson, S. P., Krogsgaard, M. R., & Beyer, N. (2014). The effects of high-intensity versus low-intensity resistance training on leg extensor power and recovery of knee function after ACL-reconstruction. *BioMed Research International*, 2014:27851. <https://doi.org/10.1155/2014/278512>
- Blemker, S. S., Pinsky, P. M., & Delp, S. L. (2005). A 3D model of muscle reveals the causes of nonuniform strains in the biceps brachii. *Journal of Biomechanics*, 38(4), 657–665. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.04.009>
- Bloomquist, K., Langberg, H., Karlsen, S., Madsgaard, S., Boesen, M., & Raastad, T. (2013). Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations. *European Journal of Applied Physiology*, 113(8), 2133–2142. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2642-7>
- Brainerd, E. L., & Azizi, E. (2005). Muscle fiber angle, segment bulging and architectural gear ratio in segmented musculature. *Journal of Experimental Biology*, 208(17), 3249–3261. <https://doi.org/10.1242/jeb.01770>
- Brandão, L., de Salles Painelli, V., Lasevicius, T., Silva-Batista, C., Brendon, H., Schoenfeld, B. J., Aihara, A. Y., Cardoso, F. N., de Almeida Peres, B., & Teixeira, E. L. (2020). Varying the Order of Combinations of Single- and Multi-Joint Exercises Differentially Affects Resistance Training Adaptations. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(5), 1254–1263. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003550>
- Brennan, S. F., Cresswell, A. G., Farris, D. J., & Lichtwark, G. A. (2017). In vivo fascicle length measurements via B-mode ultrasound imaging with single vs dual transducer arrangements. *Journal of Biomechanics*, 64, 240–244. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2017.09.019>

- Brumitt, J., & Cuddeford, T. (2015). Current Concepts of Muscle and Tendon Adaptation To Strength and Conditioning. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *10*(6), 748–759. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26618057><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4637912>
- Buckner, S. L., Yitzchaki, N., Kataoka, R., Vasenina, E., Zhu, W. G., Kuehne, T. E., & Loenneke, J. P. (2021). Do exercise-induced increases in muscle size contribute to strength in resistance-trained individuals? *Clinical Physiology and Functional Imaging*, *41*(4), 326–333. <https://doi.org/10.1111/cpf.12699>
- Burley, H., Georgiev, G. P., Iwanaga, J., Dumont, A. S., & Tubbs, R. S. (2020). An unusual finding of the pectoralis major muscle: decussation of sternal fibers across the midline. *Anatomy and Cell Biology*, *53*(4), 505–508. <https://doi.org/10.5115/acb.20.058>
- Carey Smith, R., & Rutherford, O. M. (1995). The role of metabolites in strength training. I. A comparison of eccentric and concentric contractions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *71*(4), 332–336. <https://doi.org/10.1007/BF00240413>
- Carr, J. A., Ellerby, D. J., & Marsh, R. L. (2011). Differential segmental strain during active lengthening in a large biarticular thigh muscle during running. *Journal of Experimental Biology*, *214*(20), 3386–3395. <https://doi.org/10.1242/jeb.050252>
- Castanov, V., Hassan, S. A., Shakeri, S., Vienneau, M., Zabjek, K., Richardson, D., McKee, N. H., & Agur, A. M. R. (2019). Muscle architecture of vastus medialis obliquus and longus and its functional implications: A three-dimensional investigation. *Clinical Anatomy*, *32*(4), 515–523. <https://doi.org/10.1002/ca.23344>
- Chaves, S. F. N., Rocha-Júnior, V. A., Encarnação, I. G. A., Martins-Costa, H. C., Freitas,

- E. D. S., Coelho, D. B., Franco, F. S. C., Loenneke, J. P., Bottaro, M., & Ferreira-Júnior, J. B. (2020). Effects of horizontal and incline bench press on neuromuscular adaptations in untrained young men. *International Journal of Exercise Science*, *13*(6), 859–872.
- Chen, T. C., Nosaka, K., & Sacco, P. (2007). Intensity of eccentric exercise, shift of optimum angle, and the magnitude of repeated-bout effect. *Journal of Applied Physiology*, *102*(3), 992–999. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00425.2006>
- Damas, F., Libardi, C. A., & Ugrinowitsch, C. (2018). The development of skeletal muscle hypertrophy through resistance training: the role of muscle damage and muscle protein synthesis. *European Journal of Applied Physiology*, *118*(3), 485–500. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3792-9>
- Davies, T. B., Halaki, M., Orr, R., Mitchell, L., Helms, E. R., Clarke, J., & Hackett, D. A. (2021). Effect of Set-Structure on Upper-Body Muscular Hypertrophy and Performance in Recreationally-Trained Male and Female. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *Online ahe*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003971>
- De Vasconcelos Costa, B. D., Kassiano, W., Nunes, J. P., Kunevaliki, G., Castro-E-Souza, P., Rodacki, A., Cyrino, L. T., Cyrino, E. S., & Fortes, L. D. S. (2021). Does Performing Different Resistance Exercises for the Same Muscle Group Induce Non-homogeneous Hypertrophy? *International Journal of Sports Medicine*, *42*(9), 803–811. <https://doi.org/10.1055/a-1308-3674>
- Del Castillo Molina, J. M. (2014). *ENTREVISTA AL DR. JUAN JOSÉ GONZÁLEZ BADILLO (Apertura simposio hipertrofia muscular y core 2014: JJG Badillo-JM Castillo)*. Josemief.Com.
- Desconocido. (2022). *Porcentaje de individuos que fue a un gimnasio en España de 1996*

- a 2021. Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/569644/evolucion-del-porcentaje-de-individuos-que-fueron-a-un-gimnasio/>
- Diniz, R. C. R., Tourino, F. D., Lacerda, L. T., Martins-Costa, H. C., Lanza, M. B., Lima, F. V., & Chagas, M. H. (2020a). Does the Muscle Action Duration Induce Different Regional Muscle Hypertrophy in Matched Resistance Training Protocols? *Journal of Strength & Conditioning Research*, Ahead of p(Na), Na.
- Diniz, R. C. R., Tourino, F. D., Lacerda, L. T., Martins-Costa, H. C., Lanza, M. B., Lima, F. V., & Chagas, M. H. (2020b). Does the Muscle Action Duration Induce Different Regional Muscle Hypertrophy in Matched Resistance Training Protocols? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(9), 2371–2380. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003883>
- Drummond, M. D. M., Szmuchrowski, L. A., Goulart, K. N. O., & Couto, B. P. (2016). Effect of strength training on regional hypertrophy of the elbow flexor muscles. *Muscle and Nerve*, 54(4), 750–755. <https://doi.org/10.1002/mus.25088>
- Dutton, K. R., & Laura, R. S. (1989). Towards a History of Bodybuilding. *Sporting Traditions*, 6(1), 25–41.
- Earp, J. E., Angelino, D., Hatfield, D. L., Colantuono, V., Jackson, E. R., Morgan, K. D., Adami, A., Melanson, K. J., & Blazevich, A. J. (2023). Differing hypertrophy patterns from open and closed kinetic chain training affect quadriceps femoris center of mass and moment of inertia. *Frontiers in Physiology*, Ahead of p. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1074705>
- Earp, J. E., Newton, R. U., Cormie, P., & Blazevich, A. J. (2015). Inhomogeneous quadriceps femoris hypertrophy in response to strength and power training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(11), 2389–2397. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000669>

- Earp, J. E., Stucchi, D. T., Demartini, J. K., & Roti, M. W. (2016). Regional Surface Electromyography of the Vastus Lateralis during Strength and Power Exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1585–1591. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001405>
- Ema, R., Wakahara, T., Miyamoto, N., Kanehisa, H., & Kawakami, Y. (2013a). Inhomogeneous architectural changes of the quadriceps femoris induced by resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, 113(11), 2691–2703. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2700-1>
- Ema, R., Wakahara, T., Miyamoto, N., Kanehisa, H., & Kawakami, Y. (2013b). Inhomogeneous architectural changes of the quadriceps femoris induced by resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, 113(11), 2691–2703. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2700-1>
- Ema, R., Wakahara, T., Yanaka, T., Kanehisa, H., & Kawakami, Y. (2016). Unique muscularity in cyclists' thigh and trunk: A cross-sectional and longitudinal study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(7), 782–793. <https://doi.org/10.1111/sms.12511>
- Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Bllimkie, C. J. R., Jeffreys, I., Micheli, L. J., Nitka, M., & Rowland, T. W. (2009). Risks and Concerns Related to Youth Resistance Training. *National Strength and Conditioning Association*, 23 Supplement 5, 60–79.
- Figueiredo, V. C. (2019). Revisiting the roles of protein synthesis during skeletal muscle hypertrophy induced by exercise. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 317(5), R709–R718. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00162.2019>
- Finni, T., Havu, M., Sinha, S., Usenius, J. P., & Cheng, S. (2008). Mechanical behavior of the quadriceps femoris muscle tendon unit during low-load contractions. *Journal*

- of *Applied Physiology*, 104(5), 1320–1328.
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01069.2007>
- Fonseca, R. M., Roschel, H., Tricoli, V., De Souza, E. O., Wilson, J. M., Laurentino, G. C., Aihara, A. Y., De Souzaleão, A. R., & Ugrinowitsch, C. (2014). Changes in exercises are more effective than in loading schemes to improve muscle strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(11), 3085–3092.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000539>
- Fragala, M. S., Cadore, E. L., Dorgo, S., Izquierdo, M., Kraemer, W. J., Peterson, M. D., & Ryan, E. D. (2019). Resistance training for older adults: Position statement from the national strength and conditioning association. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(8), 2019–2052.
<https://doi.org/10.1519/jsc.00000000000003230>
- Franchi, M. V., Atherton, P. J., Reeves, N. D., Flück, M., Williams, J., Mitchell, W. K., Selby, A., Beltran Valls, R. M., & Narici, M. V. (2014a). Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiologica*, 210(3), 642–654. <https://doi.org/10.1111/apha.12225>
- Franchi, M. V., Atherton, P. J., Reeves, N. D., Flück, M., Williams, J., Mitchell, W. K., Selby, A., Beltran Valls, R. M., & Narici, M. V. (2014b). Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiologica*, 210(3), 642–654. <https://doi.org/10.1111/apha.12225>
- Franchi, M. V., Fitze, D. P., Hanimann, J., Sarto, F., & Spörri, J. (2020). Panoramic ultrasound vs. MRI for the assessment of hamstrings cross-sectional area and volume in a large athletic cohort. *Scientific Reports*, 10(1), 1–11.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-71123-6>
- Franchi, M. V., Longo, S., Mallinson, J., Quinlan, J. I., Taylor, T., Greenhaff, P. L., &

- Narici, M. V. (2018). Muscle thickness correlates to muscle cross-sectional area in the assessment of strength training-induced hypertrophy. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 28(3), 846–853. <https://doi.org/10.1111/sms.12961>
- Franchi, M. V., Raiteri, B. J., Longo, S., Sinha, S., Narici, M. V., & Csapo, R. (2018). Muscle Architecture Assessment: Strengths, Shortcomings and New Frontiers of in Vivo Imaging Techniques. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 44(12), 2492–2504. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2018.07.010>
- Franchi, M. V., Reeves, N. D., & Narici, M. V. (2017). Skeletal muscle remodeling in response to eccentric vs. concentric loading: Morphological, molecular, and metabolic adaptations. *Frontiers in Physiology*, 8, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00447>
- Fukutani, A., Misaki, J., & Isaka, T. (2017). Relationship between joint torque and muscle fascicle shortening at various joint angles and intensities in the plantar flexors. *Scientific Reports*, 7, 1–6. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00485-1>
- Gajdosik, R. L., Hallett, J. P., & Slaughter, L. L. (1994). Passive insufficiency of two-joint shoulder muscles. *Clinical Biomechanics*, 9(6), 377–378. [https://doi.org/10.1016/0268-0033\(94\)90069-8](https://doi.org/10.1016/0268-0033(94)90069-8)
- Gardiner, E. N. (2002). *Athletics in the ancient world*. Dover publications.
- Gordon, B. R., McDowell, C. P., Hallgren, M., Meyer, J. D., Lyons, M., & Herring, M. P. (2018). Association of efficacy of resistance exercise training with depressive symptoms meta-analysis and meta-regression: Analysis of randomized clinical trials. *JAMA Psychiatry*, 75(6), 566–576. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2018.0572>
- Grob, K., Ackland, T., Kuster, M. S., Manestar, M., & Filgueira, L. (2016). A newly discovered muscle: The tensor of the vastus intermedius. *Clinical Anatomy*, 29(2),

256–263. <https://doi.org/10.1002/ca.22680>

- Hacker, E. D., Peters, T., & Garkova, M. (2016). Ultrasound Assessment of the Rectus Femoris Cross-Sectional Area: Subject Position Implications. *Western Journal of Nursing Research, 38*(9), 1221–1230. <https://doi.org/10.1177/0193945916644751>
- Hahn, D. R., & Van Farowe, D. E. (1970). Misuse and abuse of diagnostic x-ray. *American Journal of Public Health and the Nation's Health, 60*(2), 250–254. <https://doi.org/10.2105/AJPH.60.2.250>
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J., & Paavolainen, L. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology, 89*(1), 42–52. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0751-9>
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., & Alen, M. (2001). Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women. *Journal of Applied Physiology, 91*(2), 569–580. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.2.569>
- Hardee, J. P., Counts, B. R., & Carson, J. A. (2019). Understanding the Role of Exercise in Cancer Cachexia Therapy. *American Journal of Lifestyle Medicine, 13*(1), 46–60. <https://doi.org/10.1177/1559827617725283>
- Hernández-Belmonte, A., Martínez-Cava, A., & Pallarés, J. G. (2022). Panoramic ultrasound requires a trained operator and specific evaluation sites to maximize its sensitivity: A comprehensive analysis of the measurement errors. *Physiology and Behavior, Ahead of p.* <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2022.113737>
- Herzog, W. (2018). Why are muscles strong, and why do they require little energy in

- eccentric action? *Journal of Sport and Health Science*, 7(3), 255–264.
<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2018.05.005>
- Herzog, W., & Leonard, T. R. (2002). Force enhancement following stretching of skeletal muscle: a new mechanism. *The Journal of Experimental Biology*, 205(Pt 9), 1275–1283. <https://doi.org/10.1242/jeb.205.9.1275>
- Higbie, E. J., Cureton, K. J., Warren III, G. L., & Prior, B. M. (1996). Effects of Concentric and Eccentric Isokinetic Training on Muscle Strength, Cross-Sectional Area and Neural Activation. *Journal of Applied Physiology*, 81(5), 2173–2181.
<https://doi.org/10.1249/00005768-199405001-00173>
- Hisaeda, H., Miyagawa, K., Muraoka, I., Kuno, S. Y., & Fukunaga, T. (1996). Influence of two different modes of resistance training in female subjects. *Ergonomics*, 39(6), 842–852. <https://doi.org/10.1080/00140139608964505>
- Hong, H. C., Hwang, S. Y., Choi, H. Y., Yoo, H. J., Seo, J. A., Kim, S. G., Kim, N. H., Baik, S. H., Choi, D. S., & Choi, K. M. (2014). Relationship between sarcopenia and nonalcoholic fatty liver disease: The Korean Sarcopenic Obesity Study. *Hepatology*, 59(5), 1772–1778. <https://doi.org/10.1002/hep.26716>
- Hornsby, W. G., Gentles, J. A., Haff, G. G., Stone, M. H., Buckner, S. L., Dankel, S. J., Bell, Z. W., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2018). What is the impact of muscle hypertrophy on strength and sport performance? *Strength and Conditioning Journal*, 40(6), 99–111. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000432>
- Housh, D. J., Housh, T. J., Johnson, G. O., & Chu, W. K. (1992). Hypertrophic response to unilateral concentric isokinetic resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 73(1), 65–70. <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.73.1.65>
- Hoy, M. G., Zajac, F. E., & Gordon, M. E. (1990). A musculoskeletal model of the human lower extremity: The effect of muscle, tendon, and moment arm on the moment-

- angle relationship of musculotendon actuators at the hip, knee, and ankle. *Journal of Biomechanics*, 23(2), 157–169. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(90\)90349-8](https://doi.org/10.1016/0021-9290(90)90349-8)
- Huijing, P. A. (1999). Muscle as a collagen fiber reinforced composite: A review of force transmission in muscle and whole limb. *Journal of Biomechanics*, 32(4), 329–345. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(98\)00186-9](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(98)00186-9)
- Huijing, P. A., & Baan, G. C. (2001). Extramuscular myofascial force transmission within the rat anterior tibial compartment: Proximo-distal differences in muscle force. *Acta Physiologica Scandinavica*, 173(3), 297–311. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.2001.00911.x>
- INE. (2021). *Pirámide de la población empadronada en España*. Instituto Nacional de Estadística.
- Ismail, H. M., & Ranatunga, K. W. (1978). Isometric tension development in a human skeletal muscle in relation to its working range of movement: The length-tension relation of biceps brachii muscle. *Experimental Neurology*, 62(3), 595–604. [https://doi.org/10.1016/0014-4886\(78\)90271-6](https://doi.org/10.1016/0014-4886(78)90271-6)
- Janssen, I., Heymsfield, S. B., Wang, Z., & Ross, R. (2000). Erratum: Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr (Journal of Applied Physiology (2000) 89 (81-88)). *Journal of Applied Physiology*, 89(1), 81–88. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.zdg-1052-corr.2014>
- Kanehisa, H., Nagareda, H., Kawakami, Y., Akima, H., Masani, K., Kouzaki, M., & Fukunaga, T. (2002). Effects of equivolume isometric training programs comprising medium or high resistance on muscle size and strength. *European Journal of Applied Physiology*, 87(2), 112–119. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0604-6>
- Kavvoura, A., Zaras, N., Stasinaki, A. N., Arnaoutis, G., Methenitis, S., & Terzis, G. (2018). The importance of lean body mass for the rate of force development in

- taekwondo athletes and track and field throwers. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 3(3), 1–20. <https://doi.org/10.3390/jfmk3030043>
- Kawakami, Y., Abe, T., Kuno, S. Y., & Fukunaga, T. (1995). Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 72(1–2), 37–43. <https://doi.org/10.1007/BF00964112>
- Kawakami, Y., Nakazawa, K., Fujimoto, T., Nozaki, D., Miyashita, M., & Fukunaga, T. (1994). Specific tension of elbow flexor and extensor muscles based on magnetic resonance imaging. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 68(2), 139–147. <https://doi.org/10.1007/BF00244027>
- Kiely, J. (2018). Periodization Theory: Confronting an Inconvenient Truth. *Sports Medicine*, 48(4), 753–764. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0823-y>
- Kim, G., & Kim, J. H. (2020). Impact of Skeletal Muscle Mass on Metabolic Health. *Endocrinology and Metabolism*, 35(1), 1–6. <https://doi.org/10.3803/EnM.2020.35.1.1>
- Kojic, F., Ranisavljev, I., Obradovic, M., Mandic, D., Pelemis, V., Paloc, M., & Duric, S. (2022). Does Back Squat Exercise Lead to Regional Hypertrophy among Quadriceps Femoris Muscles? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 1–9. <https://doi.org/10.3390/ijerph192316226>
- Kubo, K., Ohgo, K., Takeishi, R., Yoshinaga, K., Tsunoda, N., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2006). Effects of isometric training at different knee angles on the muscle-tendon complex in vivo. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 16(3), 159–167. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00450.x>
- Loenneke, J. P., Buckner, S. L., Dankel, S. J., & Abe, T. (2019). Exercise-Induced Changes in Muscle Size do not Contribute to Exercise-Induced Changes in Muscle Strength. *Sports Medicine*, 49(7), 987–991. <https://doi.org/10.1007/s40279-019->

- Loenneke, J. P., Dankel, S. J., Bell, Z. W., Buckner, S. L., Mattocks, K. T., Jessee, M. B., & Abe, T. (2019). Is muscle growth a mechanism for increasing strength? *Medical Hypotheses*, *125*(February), 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2019.02.030>
- Loss, J. F., & Candotti, C. T. (2008). Comparative study between two elbow flexion exercises using the estimated resultant muscle force. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, *12*(6), 502–510. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552008005000011>
- Lundberg, T. R., García-Gutiérrez, M. T., Mandić, M., Lilja, M., & Fernandez-Gonzalo, R. (2019). Regional and muscle-specific adaptations in knee extensor hypertrophy using flywheel versus conventional weight-stack resistance exercise. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, *44*(8), 827–833. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0774>
- Maeo, S., Huang, M., Wu, Y., Sakurai, H., Kusagawa, Y., Sugiyama, T., Kanehisa, H., & Isaka, T. (2021). Greater Hamstrings Muscle Hypertrophy but Similar Damage Protection after Training at Long versus Short Muscle Lengths Greater Hamstrings Muscle Hypertrophy but Similar Damage Protection after Training at Long versus Short Muscle Lengths. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *53*(4), 825–837. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002523>
- Maeo, S., Shan, X., Otsuka, S., Kanehisa, H., & Kawakami, Y. (2018). Single-joint eccentric knee extension training preferentially trains the rectus femoris within the quadriceps muscles. *Translational Sports Medicine*, *1*(5), 212–220. <https://doi.org/10.1002/tsm2.38>
- Maeo, S., Wu, Y., Huang, M., Sakurai, H., Kusagawa, Y., Sugiyama, T., Kanehisa, H., & Isaka, T. (2022). Triceps brachii hypertrophy is substantially greater after elbow extension training performed in the overhead versus neutral arm position. *European*

<https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2100279>

Maneiro, R., Losada, J. L., Casal, C. A., Papadopoulou, S., Sarmiento, H., Ardá, A., Iglesias, X., & Amatria, M. (2022). Editorial: Advances in Sport Science: Latest Findings and New Scientific Proposals. *Frontiers in Psychology, 13*(April), 1–3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.891906>

Mangine, G. T., Redd, M. J., Gonzalez, A. M., Townsend, J. R., Wells, A. J., Jajtner, A. R., Beyer, K. S., Boone, C. H., La Monica, M. B., Stout, J. R., Fukuda, D. H., Ratamess, N. A., & Hoffman, J. R. (2018). Resistance training does not induce uniform adaptations to quadriceps. *PLoS ONE, 13*(8), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198304>

Margaritelis, N. V., Theodorou, A. A., Chatzinikolaou, P. N., Kyparos, A., Nikolaidis, M. G., & Paschalis, V. (2021). Eccentric exercise per se does not affect muscle damage biomarkers: early and late phase adaptations. *European Journal of Applied Physiology, 121*(2), 549–559. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04528-w>

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

Marušič, J., Vatovec, R., Marković, G., & Šarabon, N. (2020). Effects of eccentric training at long-muscle length on architectural and functional characteristics of the hamstrings. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 30*(11), 2130–2142. <https://doi.org/10.1111/sms.13770>

- Matta, T., Simao, R., Freitas de Salles, B., Spinetti, J., & Fernandes Oliveira, L. (2011). Strength training's chronic effects on muscle architecture parameters of different arm sites. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6), 1711–1717. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181dba162>
- Matta, T. T., Nascimento, F. X., Trajano, G. S., Simão, R., Willardson, J. M., & Oliveira, L. F. (2017). Selective hypertrophy of the quadriceps musculature after 14 weeks of isokinetic and conventional resistance training. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 37(2), 137–142. <https://doi.org/10.1111/cpf.12277>
- Maurus, I., Mantel, C., Keller-Varady, K., Schmitt, A., Lembeck, M., Röh, A., Papazova, I., Falkai, P., Schneider-Axmann, T., Hasan, A., & Malchow, B. (2020). Resistance training in patients with schizophrenia: Concept and proof of principle trial. *Journal of Psychiatric Research*, 120, 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2019.09.015>
- McMahon, G. E., Morse, C. I., Burden, A., Winwood, K., & Onambélé, G. L. (2014). Impact of range of motion during ecologically valid resistance training protocols on muscle size, subcutaneous fat, and strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(1), 245–255. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318297143a>
- McMahon, G., Morse, C. I., Burden, A., Winwood, K., & Onambélé, G. L. (2014). Muscular adaptations and insulin-like growth factor-1 responses to resistance training are stretch-mediated. *Muscle and Nerve*, 49(1), 108–119. <https://doi.org/10.1002/mus.23884>
- Mendoça Leitao, B. F., Franchi, M. V., & Torres da Matta, T. (2022). Letter to the editor concerning the article “The role of exercise selection in regional Muscle Hypertrophy: A randomized controlled trial” by Zabaleta-Korta et al. (2021). *Journal of Sports Sciences*, 40(6), 655–657.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2011.646787>

Miller, A. T., & Morehouse, L. E. (1971). *Physiology of exercise* (Sixth). Mosby.

Miyamoto, N., Wakahara, T., & Kawakami, Y. (2012). Task-dependent inhomogeneous muscle activities within the Bi-articular human rectus femoris muscle. *PLoS ONE*, 7(3), 1–5. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034269>

Morton, J. F., Brownlee, M., & McFadyen, A. K. (2005). The effects of progressive resistance training for children with cerebral palsy. *Clinical Rehabilitation*, 19(3), 283–289. <https://doi.org/10.1191/0269215505cr804oa>

Narici, M. V., Hoppeler, H., Kayser, B., Landoni, L., Claassen, H., Gavardi, C., Conti, M., & Cerretelli, P. (1996). Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 157(2), 175–186. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.1996.483230000.x>

Narici, M. V., Roi, G. S., Landoni, L., Minetti, A. E., & Cerretelli, P. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(4), 310–319. <https://doi.org/10.1007/BF02388334>

Noorkõiv, M., Nosaka, K., & Blazevich, A. J. (2014). Neuromuscular adaptations associated with knee joint angle-specific force change. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(8), 1525–1537. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000269>

Noorkoiv, M., Stavnsbo, A., Aagaard, P., & Blazevich, A. J. (2010). In vivo assessment of muscle fascicle length by extended field-of-view ultrasonography. *Journal of Applied Physiology*, 109(6), 1974–1979. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00657.2010>

- Nordal, H. J., Dietrichson, P., Eldevik, P., & Grønseth, K. (1988). Fat infiltration, atrophy and hypertrophy of skeletal muscles demonstrated by X-ray computed tomography in neurological patients. *Acta Neurologica Scandinavica*, 77(2), 115–122. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.1988.tb05881.x>
- Nosaka, K., & Sakamoto, K. (2001). Effect of elbow joint angle on the magnitude of muscle damage to the elbow flexors. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(1), 22–29. <https://doi.org/10.1097/00005768-200101000-00005>
- Nunes, J. P., Jacinto, J. L., Ribeiro, A. S., Mayhew, J. L., Nakamura, M., Capel, D. M. G., Santos, L. R., Santos, L., Cyrino, E. S., & Aguiar, A. F. (2020). Placing greater torque at shorter or longer muscle lengths? Effects of cable vs. barbell preacher curl training on muscular strength and hypertrophy in young adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16). <https://doi.org/10.3390/ijerph17165859>
- Palmer, T. B., Akehi, K., Thiele, R. M., Smith, D. B., & Thompson, B. J. (2015). Reliability of panoramic ultrasound imaging in simultaneously examining muscle size and quality of the hamstring muscles in young, healthy males and females. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 41(3), 675–684. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2014.10.011>
- Pappas, G. P., Asakawa, D. S., Delp, S. L., Zajac, F. E., & Drace, J. E. (2002). Nonuniform shortening in the biceps brachii during elbow flexion. *Journal of Applied Physiology*, 92(6), 2381–2389. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00843.2001>
- Pedrosa, G. F., Lima, F. V., Schoenfeld, B. J., Lacerda, L. T., Simões, M. G., Pereira, M. R., Diniz, R. C. R., & Chagas, M. H. (2022). Partial range of motion training elicits favorable improvements in muscular adaptations when carried out at long muscle

- lengths. *European Journal of Sport Science*, 22(8), 1250–1260.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1927199>
- Pedrosa, G. F., Simoes, M., Figueiredo, M. O. C., Lacerda, L. T., Schoenfeld, B. J., Lima, F. V., Chagas, M. H., & Diniz, R. C. R. (2023). Training in the initial range of motion promotes greater muscle adaptations than at final. *Sports*, 11(2), 1–12.
<https://doi.org/10.3390/sports11020039>
- Pickering, C., & Kiely, J. (2019). Do Non-Responders to Exercise Exist—and If So, What Should We Do About Them? *Sports Medicine*, 49(1), 1–7.
<https://doi.org/10.1007/s40279-018-01041-1>
- Postic, C., & Girard, J. (2008). Contribution of de novo fatty acid synthesis to hepatic steatosis and insulin resistance: Lessons from genetically engineered mice. *Journal of Clinical Investigation*, 118(3), 829–838. <https://doi.org/10.1172/JCI34275>
- Purslow, P. P. (2002). The structure and functional significance of variations in the connective tissue within muscle. *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology*, 133(4), 947–966.
[https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(02\)00141-1](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(02)00141-1)
- Purslow, P. P. (2020). The Structure and Role of Intramuscular Connective Tissue in Muscle Function. *Frontiers in Physiology*, 19.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00495>
- R.A., M., D., C.-S., & S.D., P. (2014). It is not just muscle mass: A review of muscle quality, composition and metabolism during ageing as determinants of muscle function and mobility in later life. *Longevity and Healthspan*, 3(1).
<https://doi.org/10.1186/2046-2395-3-9>
- Reeves, N. D., Maganaris, C. N., Longo, S., & Narici, M. V. (2009). Differential adaptations to eccentric versus conventional resistance training in older humans.

Experimental Physiology, 94(7), 825–833.

<https://doi.org/10.1113/expphysiol.2009.046599>

Ribeiro, B. G., Mota, H. R., Sampaio-Jorge, F., Morales, A. P., & Leite, T. C. (2015).

Correlation between body composition and the performance of vertical jumps in basketball players. *Journal of Exercise Physiology Online*, 18(5), 69–78.

Roberts, M. D., Haun, C. T., Vann, C. G., Osburn, S. C., & Young, K. C. (2020).

Sarcoplasmic Hypertrophy in Skeletal Muscle: A Scientific “Unicorn” or Resistance Training Adaptation? *Frontiers in Physiology*, 11, 1–16.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00816>

Roman, W. J., Fleckenstein, J., Gundersen, J. S., Alway, S. E., Peshock, R., & Gonyea,

W. J. (1993). Adaptations in the elbow flexors of elderly males after heavy-resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 74(2), 750–754.

<https://doi.org/10.1152/jappl.1993.74.2.750>

Santos, E. J. A. M., & Janeira, M. A. A. S. (2012). The effects of resistance training on

explosive strength indicators in adolescent basketball players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(10), 2641–2647.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823f8dd4>

Sartori, R., Romanello, V., & Sandri, M. (2021). Mechanisms of muscle atrophy and

hypertrophy: implications in health and disease. *Nature Communications*, 12(1).

<https://doi.org/10.1038/s41467-020-20123-1>

Sato, S., Yoshida, R., Kiyono, R., Yahata, K., Yasaka, K., Nunes, J. P., Nosaka, K., &

Nakamura, M. (2021). Elbow Joint Angles in Elbow Flexor Unilateral Resistance Exercise Training Determine Its Effects on Muscle Strength and Thickness of

Trained and Non-trained Arms. *Frontiers in Physiology*, 12, 1–9.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2021.734509>

- Schoenfeld, B., Fisher, J., Grgic, J., Haun, C., Helms, E., Phillips, S., Steele, J., & Vigotsky, A. (2021). Resistance Training Recommendations to Maximize Muscle Hypertrophy in an Athletic Population: Position Stand of the IUSCA. *International Journal of Strength and Conditioning*, 1(1), 1–30. <https://doi.org/10.47206/ijsc.v1i1.81>
- Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2857–2872. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e840f3>
- Seynnes, O. R., de Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 102(1), 368–373. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00789.2006>
- Seynnes, O. R., De Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 102(1), 368–373. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00789.2006>
- Siebert, T., Rode, C., Herzog, W., Till, O., & Blickhan, R. (2008). Nonlinearities make a difference: Comparison of two common Hill-type models with real muscle. *Biological Cybernetics*, 98(2), 133–143. <https://doi.org/10.1007/s00422-007-0197-6>
- Slater, G. J., Dieter, B. P., Marsh, D. J., Helms, E. R., Shaw, G., & Iraki, J. (2019). Is an Energy Surplus Required to Maximize Skeletal Muscle Hypertrophy Associated With Resistance Training. *Frontiers in Nutrition*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00131>
- Srikanthan, P., & Karlamangla, A. S. (2014). Muscle mass index as a predictor of

- longevity in older adults. *American Journal of Medicine*, 127(6), 547–553.
<https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2014.02.007>
- Staniszewski, M., Mastalerz, A., & Urbanik, C. (2020). Effect of a strength or hypertrophy training protocol, each performed using two different modes of resistance, on biomechanical, biochemical and anthropometric parameters. *Biology of Sport*, 37(1), 85–91. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2020.92517>
- Stokes, T., Tripp, T. R., Murphy, K., Morton, R. W., Oikawa, S. Y., Lam Choi, H., McGrath, J., McGlory, C., MacDonald, M. J., & Phillips, S. M. (2021). Methodological considerations for and validation of the ultrasonographic determination of human skeletal muscle hypertrophy and atrophy. *Physiological Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.14814/phy2.14683>
- Strasser, B., & Schobersberger, W. (2011). Evidence for resistance training as a treatment therapy in obesity. *Journal of Obesity*. <https://doi.org/10.1155/2011/482564>
- Taylor, N. A. S., & Wilkinson, J. G. (1986). Exercise-Induced Skeletal Muscle Growth. Hypertrophy or hyperplasia? *Sports Medicine*, 3(3), 190–200.
<https://doi.org/10.2165/00007256-198603030-00003>
- Tracy, B. L., Ivey, F. M., Hurlbut, D., Martel, G. F., Lemmer, J. T., Siegel, E. L., Metter, E. J., Fozard, J. L., Fleg, J. L., & Hurley, B. F. (1999). Muscle quality. II. Effects of strength training in 65- to 75-yr-old men and women. *Journal of Applied Physiology*, 86(1), 195–201. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.1.195>
- Trezise, J., Collier, N., & Blazeovich, A. J. (2016). Anatomical and neuromuscular variables strongly predict maximum knee extension torque in healthy men. *European Journal of Applied Physiology*, 116(6), 1159–1177.
<https://doi.org/10.1007/s00421-016-3352-8>
- Valamatos, M. J., Tavares, F., Santos, R. M., Veloso, A. P., & Mil-Homens, P. (2018a).

- Influence of full range of motion vs. equalized partial range of motion training on muscle architecture and mechanical properties. *European Journal of Applied Physiology*, 118(9), 1969–1983. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3932-x>
- Valamatos, M. J., Tavares, F., Santos, R. M., Veloso, A. P., & Mil-Homens, P. (2018b). Influence of full range of motion vs. equalized partial range of motion training on muscle architecture and mechanical properties. *European Journal of Applied Physiology*, 118(9), 1969–1983. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3932-x>
- Varović, D., Žganjer, K., Vuk, S., & Schoenfeld, B. J. (2021). Drop-set training elicits differential increases in non-uniform hypertrophy of the quadriceps in leg extension exercise. *Sports*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/sports9090119>
- Visser, J. J., Hoogkamer, J. E., Bobbert, M. F., & Huijing, P. A. (1990). Length and moment arm of human leg muscles as a function of knee and hip-joint angles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(5–6), 453–460. <https://doi.org/10.1007/BF00236067>
- Volpi, E., Nazemi, R., & Fujita, S. (2004). Muscle tissue changes with aging. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 7(4), 405–410. <https://doi.org/10.1097/01.mco.0000134362.76653.b2>
- Wackerhage, H., Schoenfeld, B. J., Hamilton, D. L., Lehti, M., & Hulmi, J. J. (2019). Stimuli and sensors that initiate skeletal muscle hypertrophy following resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 126(1), 30–43. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00685.2018>
- Wakahara, T., Ema, R., Miyamoto, N., & Kawakami, Y. (2017). Inter- and intramuscular differences in training-induced hypertrophy of the quadriceps femoris: association with muscle activation during the first training session. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 37(4), 405–412. <https://doi.org/10.1111/cpf.12318>

- Wakahara, T., Fukutani, A., Kawakami, Y., & Yanai, T. (2013). Nonuniform Muscle Hypertrophy: Its relation to muscle activation in training session. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(11), 2158–2165. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3182995349>
- Wakahara, T., Miyamoto, N., Sugisaki, N., Murata, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y., Fukunaga, T., & Yanai, T. (2012). Association between regional differences in muscle activation in one session of resistance exercise and in muscle hypertrophy after resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1569–1576. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2121-y>
- Walker, S., Hulmi, J. J., Wernbom, M., Nyman, K., Kraemer, W. J., Ahtiainen, J. P., & Häkkinen, K. (2013). Variable resistance training promotes greater fatigue resistance but not hypertrophy versus constant resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, 113(9), 2233–2244. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2653-4>
- Wall, B. T., Morton, J. P., & van Loon, L. J. C. (2015). Strategies to maintain skeletal muscle mass in the injured athlete: Nutritional considerations and exercise mimetics. *European Journal of Sport Science*, 15(1), 53–62. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.936326>
- Wewege, M. A., Booth, J., & Parmenter, B. J. (2018). Aerobic vs. resistance exercise for chronic non-specific low back pain: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 31(5), 889–899. <https://doi.org/10.3233/BMR-170920>
- Wisdom, K. M., Delp, S. L., & Kuhl, E. (2015a). Use it or lose it: multiscale skeletal muscle adaptation to mechanical stimuli. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 14(2), 195–215. <https://doi.org/10.1007/s10237-014-0607-3>

- Wisdom, K. M., Delp, S. L., & Kuhl, E. (2015b). Use it or lose it: Multiscale skeletal muscle adaptation to mechanical stimuli. *Biomechanics and Modelling in Mechanobiology*, *14*(2), 195–215. <https://doi.org/10.1016/j.gde.2016.03.011>
- Yasuda, T., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., & Abe, T. (2015). Effects of detraining after blood flow-restricted low-intensity concentric or eccentric training on muscle size and strength. *Journal of Physiological Sciences*, *65*(1), 139–144. <https://doi.org/10.1007/s12576-014-0345-4>
- Zabaleta-Korta, A. (2022). *Progresar con pesas* (E. Transverso (ed.); 1st ed.).
- Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., & Santos-Concejero, J. (2020). Regional Hypertrophy, the Inhomogeneous Muscle Growth. *Strength & Conditioning Journal*, *42*(5), 94–101. <https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000574>
- Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., Torres-unda, J., Francés, M., Zubillaga, A., & Santos-Concejero, J. (2023). Regional Hypertrophy: The Effect of Exercises at Long and Short Muscle Lengths in Recreationally Trained Women. *Journal of Human Kinetics*, *Ahead of p*. <https://doi.org/10.5114/jhk/163561>
- Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., Torres-Unda, J., Garbisu-Hualde, A., & Santos-Concejero, J. (2021). The role of exercise selection in regional Muscle Hypertrophy: A randomized controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, *20*(39), 2298–2304. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1929736>
- Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., Torres-Unda, J., Garbisu-Hualde, A., & Santos-Concejero, J. (2022). Response to: Letter to the editor concerning the article “The role of exercise selection in regional muscle hypertrophy: A randomized controlled trial” by Zabaleta-Korta et al. (2021). *Journal of Sports Sciences*, *40*(10), 1158–1159. <https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2052596>
- Zulet Fraile, P., Lizancos Castro, A., Andía Melero, V., González Antigüedad, C.,

Monereo Megías, S., & Calvo Revilla, S. (2019). Relación de la composición corporal medida por DEXA con el estilo de vida y la satisfacción con la imagen corporal en estudiantes universitarios. *Nutrición Hospitalaria*, 36(4). <https://doi.org/10.20960/nh.02103>

Sección 2:

Conclusiones

“En algún lugar algo increíble está esperando a ser descubierto”

(Carl Sagan)



2.1 Conclusiones

- Podemos afirmar que la hipertrofia regional existe y se da en diferentes poblaciones.
- Parece que existen ciertos patrones que muestran correspondencia entre las demandas mecánicas de un ejercicio y la posterior hipertrofia:
 - El RF crece en respuesta a extensiones de rodilla con la cadera fija a 90 grados
 - En general, todos los músculos biarticulares parecen crecer en respuesta a ejercicios que demandan movimiento en la articulación distal y mantener la proximal fija.
- Esta correspondencia entre demandas mecánicas e hipertrofia se explica desde la resistencia del ejercicio y la capacidad del músculo para hacerle frente, donde entran en juego factores como la longitud muscular.
- Aunque se ven patrones de hipertrofia regional tras ejercicios concretos como el *leg extension*, estos no se respetan en otros ejercicios y se ha hallado hipertrofia regional distinta en respuesta a un mismo ejercicio.
- Trabajar los flexores de codo en estiramiento provoca un crecimiento de la zona distal de estos.
- La hipertrofia regional podría tener implicaciones relevantes para la función de músculos. Presuntamente, la hipertrofia regional podría ocurrir de forma que favorezca una mayor aplicación de fuerza o de potencia.
- Aunque mediciones en 1 y 2 dimensiones están validadas para cuantificar la hipertrofia regional, las mediciones deben realizarse en 3D siempre que sea posible.

- El EMG de superficie no debe usarse para predecir la hipertrofia regional que pudiese ocurrir en respuesta a un ejercicio o régimen de entrenamiento.
- No tenemos suficiente evidencia para determinar si el EMG intramuscular es una buena medida para predecir la hipertrofia regional, y la evidencia existente es contradictoria.
- Es posible que la hipertrofia regional venga determinada de forma genética, o que exista cierta predisposición de algunas personas a desarrollar determinados tipos de hipertrofia regional, pero no podemos afirmarlo ni desmentirlo al no haber suficientes estudios al respecto.
- Es posible que la experiencia de un atleta en algunos deportes esté confundiendo los resultados de algunos estudios sobre hipertrofia regional. Por ello, este debe ser un factor a tener en cuenta en futuros estudios.

2.2 Limitaciones y propuestas de futuro

En los estudios que he llevado a cabo para realizar esta tesis doctoral existen varias limitaciones que pueden haber frenado el avance de nuestras investigaciones. La más importante ha sido la falta de tecnología adecuada para analizar correctamente la hipertrofia regional. La tecnología que mejor muestra el cambio del tamaño de los músculos es el MRI, una tecnología costosa y difícil de encontrar con la que no hemos podido contar. Esto ha dificultado analizar el crecimiento, pero además ha podido provocar que no hallemos diferencias donde probablemente pudimos haberlas encontrado con métodos más sensibles a los cambios de tamaño del músculo.

No hemos podido contar con investigadores experimentados en el área de la hipertrofia regional, lo que probablemente ha evitado que podamos plantear las preguntas adecuadas.

Una gran limitación, en particular para los estudios realizados en 2020 y 2021, ha sido la pandemia de SARS COVID-19. Debido a las diferentes medidas que han adoptado las autoridades competentes tuvimos que acortar la intervención del segundo estudio a sólo 5 semanas. Además, no pudimos contar con los datos de varios sujetos en el tercer estudio, debido a que no pudieron acudir a la toma de datos al tener síntomas de contagio de SARS COVID-19.

2.3 ¿Y ahora, qué?

A pesar de que los primeros estudios que analizan la hipertrofia regional nacieron en la década de 1980, este es un campo al que se le ha prestado muy poca atención. Por eso, nos queda todavía mucho por descubrir en comparación a otros fenómenos dentro de las ciencias de la actividad física y el deporte.

El futuro de la hipertrofia regional probablemente pase por el análisis del músculo a nivel celular y molecular, y por tratar de entender las implicaciones funcionales del hecho de que una parte del músculo crezca más que otra. Esperemos que ambas vías de investigación puedan finalmente arrojar luz sobre este fenómeno que sigue en las tinieblas de las ciencias del deporte.

Sección 3:

ANEXOS

“No se puede enseñar nada a un hombre, sólo se le puede ayudar a descubrirse a sí mismo” (Galileo Galilei)



Contribuciones científicas

Publicaciones con revisión por pares en revistas científicas



Estudio 1

Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., & Santos-Concejero, J. (2020). Regional Hypertrophy, the Inhomogeneous Muscle Growth. *Strength & Conditioning Journal*, 42(5), 94–101. <https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000574>

Indicador de calidad: ISI-JCR IF 2.49. 55/88. SPORT SCIENCES 2022 (Q3)

Regional Hypertrophy, the Inhomogeneous Muscle Growth: A Systematic Review

Aitor Zabaleta-Korta, MSc, Eneko Fernández-Peña, PhD, and Jordan Santos-Concejero, PhD, FECSS
Department of Physical Education and Sport, University of the Basque Country UPV/EHU, Vitoria-Gasteiz, Spain

ABSTRACT

A literature search was performed in 2 databases (PubMed and Scopus) on May 22, 2019. From the 14 studies included in the review, 13 found that the anatomical cross-sectional area of some regions of a muscle increased to a greater degree than others. Some studies found increases in the distal region, others reported increases in the middle region, and some found differences between regions but did not report which increased the most. Hypertrophy between and within muscle heads is not homogeneous, confirming that regional hypertrophy actually happens in the quadriceps femoris, triceps brachii, and biceps brachii muscles.

INTRODUCTION

Skeletal muscle plays a key role in sports performance and daily life human motion (41). It is very responsive to mechanical stimuli (28,34), and the way this influences the development of its different properties has been widely studied (27,37). When mechanical stimuli is regularly applied to skeletal muscle, one of the most important adaptations the tissue undergoes is muscle hypertrophy (10,39,42), which is defined as an

Address correspondence to Aitor Zabaleta-Korta, azabaleta031@ikasle.ehu.eus.

increase in muscle anatomical cross-sectional area (ACSA). ACSA is considered a reliable measure to assess muscle growth (16,46) and has been found to be related to other indicators of muscle hypertrophy, including muscle volume and muscle thickness, which is the distance between the deep and superficial aponeuroses (16). There are 2 methods mainly used to assess muscle ACSA: ultrasound and magnetic resonance imaging (MRI). The gold standard when measuring muscle ACSA seems to be the latter because of the superior visualization it provides and less dependence on the operator as compared with the ultrasound (14,36).

The beneficial effect that muscle hypertrophy has for both general sports-based and resistance training-based sports performance has been reported elsewhere (1,4,35); however, several aspects of muscle hypertrophy are yet to be explored. For instance, it is known that a muscle's ability to generate tension is not equal through the range of motion of the joint that a given muscle crosses. This relationship, which is called the angle-force relationship (19,31), explains that the ability of a muscle to exert force is dependent on the length-tension properties of its components (19) among other factors. Similarly, the ability of a given muscle to exert force relies on its ACSA and the force it can apply per ACSA, which is known as specific tension

(13). This implies that if a muscle could increase the ACSA of a certain region to a greater degree than other regions, it would alter its length-tension relationship and, consequently, also its angle-force relationship.

The question arises whether such regional muscle hypertrophy (RMH) within an individual muscle exists. RMH (15,21,29) and other nonuniform intramuscular adaptations, such as changes in pennation angles (12), have already been reported in previous works, although some other articles show opposing results (5,11). It is against this apparently contradictory background that this review intends to examine whether there is evidence to support RMH in a given muscle when assessed with the gold standard measurement technique.

MATERIALS AND METHODS

EXPERIMENTAL APPROACH TO THE PROBLEM

A literature search was conducted on May 22, 2019. The following databases were searched: PubMed and Scopus. The aforementioned databases were searched from inception to May 2019, with language limitations: only

KEY WORDS:

cross sectional area; eccentric training; muscle architecture; resistance training; sarcomere length

peer-reviewed articles in English were selected. Citations from scientific conferences were excluded. To make the search more accurate, it was limited to the area of “medicine,” “biochemistry,” “genetics and molecular biology,” and “health professions” in Scopus database. In addition, “article” was used as a keyword.

LITERATURE SEARCH

In the database, the title and abstract search fields were searched. The following MeSH terms and key words, combined with the Boolean operators (AND, OR), were used: hypertrophy, csa, cross-sectional area, MRI, muscle architecture, nonuniform muscle growth. The search was performed in PubMed and Scopus databases. Twenty-one more studies were identified using the snowball technique.

INCLUSION CRITERIA

Studies were eligible for further analysis if the following inclusion criteria were met; (a) studies were written in English; (b) studies measured the ACSA of 1 muscle in at least 2 separate areas; (c) studies had to be made in healthy human beings, with no age limit; (d) studies had to include a resistance training intervention of at least 4 weeks; (e) ACSA had to be measured in any muscle using the MRI technique because it provides a superior visualization and is less dependent on the operator as compared with ultrasound (14,36).

QUALITY ASSESSMENT

Oxford’s level of evidence (33) and the Modified Physiotherapy Evidence Database (PEDro) scale (30) were used by 2 independent observers to assess the methodological quality of the articles included in the review. Oxford’s level of evidence ranges from 1a to 5, with 1a being systematic reviews of high-quality, randomized, controlled trials (RCTs) and 5 being expert opinions. The modified PEDro scale consists of 8 different items related to scientific rigor. The items include random allocation, concealment of allocation, comparability of groups at baseline, analysis by intention to treat,

and adequacy of follow-up. Items 2–8 can be rated with 0 or 1, so the highest rate in the PEDro scale is 7, and the lowest is 0. Zero points are awarded to a study that fails to satisfy any of the included items, and 7 points to a study that satisfies all of the included items.

RESULTS

STUDIES SELECTED

The search strategy yielded 1,069 studies as presented in the Figure. Another 21 studies were added from other sources. After removing 249 duplicates, 38 studies were determined to be potentially relevant to the topic based on the information in the abstract, from which 14 met the inclusion criteria. Excluded studies had at least one of the following characteristics: (a) injured or ill subjects, (b) intervention shorter than 4 weeks, (c) did not measure, or did not report ACSA, or (d) ACSA of just 1 region measured. The overall sample for the present systematic review resulted in 254 healthy subjects (159 men and 95 women) with an age range of 20–29 years (Table 1).

LEVEL OF EVIDENCE AND QUALITY OF STUDIES

According to the Oxford’s level of evidence, 4 of the included 14 studies had an evidence level 1b (high-quality RCTs) and 6 of the 14 studies had an evidence level of 2b (individual cohort study or low-quality RCTs). The remaining 4 studies had an evidence level of 3b (individual case-control study) due to the following reasons: nonconsecutive study and not correctly applied reference standards. Scores from PEDro scale were on average 4.035 ± 1.3 and ranged from 3 to 6 (Table 2).

EVIDENCE OF REGIONAL HYPERTROPHY

Differences in the growth of muscle heads after training. Only 6 of the 14 included studies reported comparisons of the ACSAs of the heads of the analyzed muscles after the intervention. All of them found preferential hypertrophy of some heads inside a given muscle (12,22,23,31,40,44).

Three studies (12,22,31) analyzed the effect of conventional resistance training on the ACSA of different muscle heads. An exercise is performed in a “conventional resistance training” fashion when the subjects perform a lifting (concentric) and a lowering (eccentric) phase, and they only rely on their muscle strength to complete the exercise. In all 3 studies, the subjects performed the leg extension exercise. The study by Ema et al. (12) found that the ACSA of the rectus femoris increased significantly more ($p < 0.01$) than the rest of the heads of the quadriceps femoris. Hisaeda et al. (22) found that when the leg extension was performed with high absolute intensity (4–5 repetition maximum [RM]), the rectus femoris was the only head of the quadriceps femoris that increased its ACSA significantly from baseline after the intervention. When the exercise was performed with low absolute intensity (15–20 RM), the only significant increase in ACSA at the end of the intervention was seen in the vastus lateralis. Narici et al. (31) found significant increases in the growth of the quadriceps femoris heads after training leg extensions for 6 months: rectus femoris (27.9%) > vastus lateralis (19.5%) > vastus medialis (18.7%) > vastus intermedius (17.4%). The authors stated that the seat of the leg extension machine was in a “slight negative slope”; hence, it is difficult to determine whether participants were seated with a hip flexion angle of 90°, greater than 90°, or less than 90°. This may have influenced the findings because the rectus femoris is a hip flexor and a knee extensor. Performing knee extensions while the hip is in greater hip flexion places the rectus femoris in a position of active insufficiency at the top of the movement and may have changed the force distribution among the 4 heads of quadriceps femoris.

Two studies (23,32) analyzed the effect of isokinetic leg flexion/extensions on the ACSAs of the different heads of the quadriceps femoris. Both Housh et al. (23) and Narici et al. (32) found that some heads grew significantly more

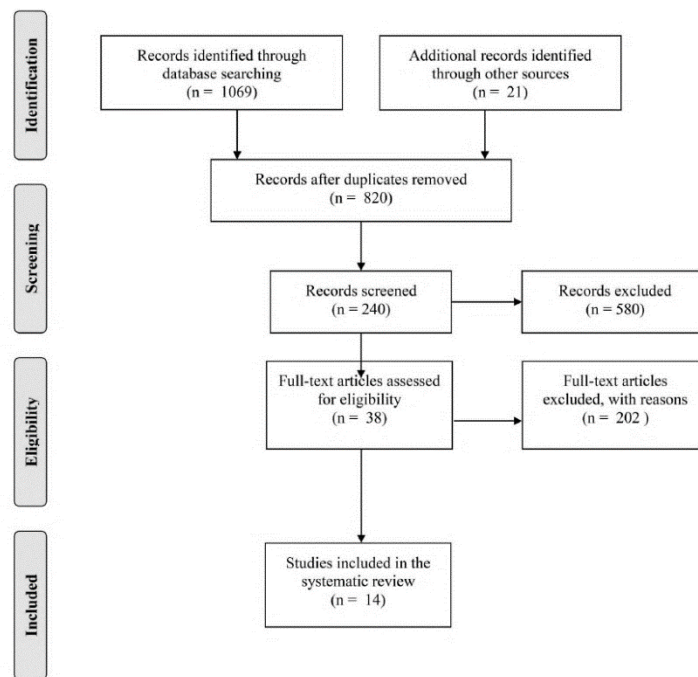


Figure. Flow chart of search strategy and selection of articles.

than others after training. The study by Housh et al. (23) studied whether a preferential growth of the heads of the quadriceps femoris could happen in response to leg extension training. The authors reported that the growth that rectus femoris underwent was significantly larger to that experienced by vastus medial and vastus lateralis. In contrast to the studies performed with conventional training, Narici et al. (32) reported a preferential hypertrophy of vastus medialis and vastus intermedius over vastus lateralis and rectus femoris in their study. However, similar to the study by Narici et al. (31), the authors did not report if the participants were seated with a hip flexion angle of 90°, greater than 90°, or less than 90°; hence, it is unclear whether this may have influenced the force distribution among the 4 heads of quadriceps femoris.

Finally, one study used the YoYo technology in their training intervention. The YoYo technology allows the athlete to train the eccentric part of an exercise. The force generated in the concentric phase is returned in the eccentric phase, forcing the athlete to overcome the force eccentrically. Seynnes et al. (40) reported an increase of 11.4% in the ACSA of rectus femoris, 8.6% in the ACSA of vastus medialis, and 6.3% in the ACSA of vastus lateralis after training leg extension (and resisted leg flexions, because of the YoYo technology) for 35 days, 3 times per week. The increase in vastus intermedius ACSA was not significant.

Differences in the growth of different regions of a muscle. From the 14 studies included in the systematic review, 13 found that the ACSA of some

regions of a muscle or muscle head increased to a greater degree than others (12,15,21–23,26,29,31,32,40,43,44,46). Seven studies (12,22,26,29,31,44,46) analyzed the differences in the growth of regions of the biceps brachii, triceps brachii, and quadriceps femoris muscles after conventional resistance training. Many of them found increases in the distal region (12,22,46), others reported increases in the middle region (22,44,46), and some found differences between regions but did not report which increased the most (26,29,31). However, it cannot be stated that a specific region increases its ACSA in response to conventional training because there is not a clear pattern in the results. Six studies (15,21,23,32,43,46) used eccentric only or isokinetic resistance training in their interventions. In contrast to the findings of the studies that

Table 1
Physiotherapy Evidence Database (PEDro) ratings and Oxford evidence levels of the included studies

Study	1	2	3	4	5	6	7	8	Total	Evidence level
Drummond et al. (11)	Yes	0	0	0	1	1	0	1	3	2b
Ema et al. (12)	Yes	1	0	1	1	1	1	1	6	1b
Franchi et al. (15)	Yes	1	0	1	1	1	1	1	6	1b
Higbie et al. (21)	Yes	1	0	1	1	1	1	1	6	1b
Hisaeda et al. (22)	Yes	1	0	0	1	1	1	1	5	3b
Housh et al. (23)	Yes	0	0	0	1	1	1	0	3	3b
Kawakami et al. (26)	Yes	0	0	0	1	1	0	1	3	2b
Melnyk et al. (29)	Yes	0	0	0	1	1	0	0	2	2b
Narici et al. (32)	Yes	0	0	0	1	1	0	1	4	3b
Narici et al. (31)	No	0	0	0	1	1	1	1	4	3b
Seynnes et al. (33)	Yes	0	0	1	1	1	0	1	4	2b
Valamatos et al. (40)	Yes	0	0	0	1	1	1	1	4	1b
Wakahara et al. (44)	Yes	0	0	1	1	1	0	1	4	2b
Yasuda et al. (46)	Yes	0	0	0	1	1	0	1	3	2b
Total									4.035	

Items in the PEDro scale: 1 = eligibility criteria were specified; 2 = subjects were randomly allocated to groups; 3 = allocation was concealed; 4 = the groups were similar at baseline regarding the most important prognostic indicators; 5 = measures of 1 key outcome were obtained from 85% of subjects initially allocated to groups; 6 = all subjects for whom outcome measures were available received the treatment or control condition as allocated or, where this was not the case, data for at least 1 key outcome were analyzed by "intention to treat"; 7 = the results of between-group statistical comparisons are reported for at least 1 key outcome; 8 = the study provides both point measures and measures of variability for at least 1 key outcome.

performed conventional resistance training, the studies that used eccentric or isokinetic resistance training seem to promote hypertrophy of the most distal part of the muscle (15,21,43,46). On the other hand, the study by Housh et al. (23) found that the region that increased most was the medial one, and Narici et al. (32) found a trend that favored the hypertrophy of the proximal region of the quadriceps femoris.

Finally, a study analyzed the regional response of quadriceps femoris following the YoYo training intervention. Seynnes et al. (40) found that some regions of muscle heads increased their ACSA earlier than others. The ACSA of the midhigh region of vastus medialis differed

significantly from baseline 20 days after the beginning of the intervention, whereas the ACSA of the distal region did not. At the end of the intervention, the vastus intermedius showed significant differences from baseline in the distal part but not in the proximal one ($p < 0.01$).

Studies that did not find regional hypertrophy. Only 1 of the 14 analyzed studies found no significant differences between the growth of the different regions of a muscle. Drummond et al. (11) made their subjects perform the unilateral Scott preacher curl exercise, which targeted the biceps brachii, 3 times per week for 12 weeks. The weight was

adjusted in each session so that the subjects could perform 4 sets of 8–10 repetitions to failure. Rest between sets lasted 120 seconds, and the minimum rest between sessions was 48 hours. The authors aimed to compare the differences between the different regions of the biceps brachii using the MRI technique to evaluate the changes. All regions augmented significantly their ACSA values from baseline measurements, and there were not significant differences between them.

DISCUSSION

The skeletal muscle is a sensitive organ that is highly responsive to the mechanical stimuli (25,34). Its adaptation capacity is so specific that the different regions of a muscle or a muscle head do not change equally after a resistance training intervention. Likely, muscle architecture may be one of the factors underneath the RMH phenomenon. Because adaptations such as increases in the pennation angle differ from one region of the muscle to another, this explanation seems plausible (12). Therefore, one probable reason to find differences in the growth of the regions inside a muscle after resistance training could be that the regions inside the muscle have different architectural adaptations, such as pennation angles. To reinforce this idea, a study has recently found that different regions of a muscle have different functions (8), which would explain why different regions of a muscle have different architectural adaptations. In the aforementioned study, the authors divided the vastus medialis into different functional regions (vastus medialis obliquus and vastus medialis longus) (8). If those regions have different functions, they may be experiencing different mechanical tension in a given exercise, which would in turn make them grow to different degrees (38).

Some studies performed in animals suggest that differences in the strain experienced by the regions within a muscle during exercise can also explain RMH. For instance, Huijting and Baan (20) found that the force

Study	Number (M/F)	Age (y)	RT experience (y)	Main outcome
Drummond et al. (11)	11 (11/0)	21.8 ± 1.62	Not reported	No significant differences between regions after 12 wk of biceps brachii training
Ema et al. (12)	21 (21/0)	27 ± 2	Untrained	Different hypertrophy between and within muscle heads after unilateral 12 wk of leg extensions
Franchi et al. (15)	12 (12/0)	25 ± 3	Untrained	Preferential hypertrophy of the distal part of the quadriceps after eccentric leg press
Higbie et al. (21)	60 (0/60)	21.5 ± 1.6	Not reported	Eccentric unilateral leg extension elicits more hypertrophy in the distal part of the quadriceps
Hisaeda et al. (22)	12 (0/12)	20.1 ± 1.5	Untrained	Traditional "strength type" and "hypertrophy type" training provides hypertrophy of different regions
Housh et al. (23)	13 (13/0)	25.1 ± 6.1	Untrained	Preferential hypertrophy of rectus femori and medial part of vastus lateralis and vastus intermedius after isokinetic leg extensions
Kawakami et al. (26)	5 (5/0)	29 ± 4	Not reported	Increase in the whole triceps ACSA except for the proximal- and distal-most parts
Melnyk et al. (29)	43 (22/21)	25.5 ± 2.5	Untrained	Uneven hypertrophy and atrophy pattern in young and old subjects after quadriceps training and detraining
Narici et al. (32)	4 (4/0)	28.3 ± 5.1	Not reported	Differences found between regions in muscle hypertrophy after isokinetic training
Narici et al. (31)	7 (7/0)	29.0 ± 3.6	Not reported	Differences found between regions in muscle hypertrophy after conventional training
Seynness et al. (33)	13 (11/2)	20 ± 2	Untrained	Differences in the onset of muscle hypertrophy between and within muscle hypertrophy
Valamatos et al. (40)	19 (19/0)	21.6 ± 3.5	Untrained	Close to total extension partial and total ROM isokinetic training hypertrophies distal part of quadriceps
Wakahara et al. (44)	24 (24/0)	26.9 ± 3.4	Untrained	Percent activated area and changes in ACSA greater in the middle than in the proximal region
Yasuda et al. (46)	10 (10/0)	22 ± 2	Not reported	Eccentric BFR elbow flexion elicited superior hypertrophy in the distal part of bicep

ACSA = anatomical cross-sectional area.

measured at the proximal and distal tendons in rats was not the same when the muscle was contracted by exciting it externally (24). The authors suggested that a probable reason for this is an intramuscular force transmission pathway that would evoke different strain in the different regions of the muscles. Another study saw that the distal region of a muscle in birds was suffering the highest strain while lengthening during a run. Higher strain would theoretically lead to a larger hypertrophy of the region (38). In addition, it was also found that during the

mentioned lengthening phase, this region had the shortest sarcomere length (7). This would mean that the overlap between filaments inside this region of the muscle would be higher, explaining the higher strain found.

The molecular events that regulate the physiological response to mechanical stress may also explain the regional response to exercise. A recent study found that the focal adhesion kinase (FAK) phosphorylation differs regionally between eccentric and concentric training. In particular, this study by

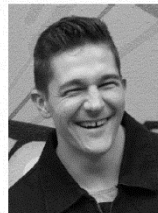
Franchi et al. (17) found that pY397-FAK levels were 4-fold in the distal site after eccentric training in the vastus lateralis, compared with concentric training. Similarly, Franchi et al. (15) found significant differences in muscle architecture: the participants who performed eccentric leg extensions experienced greater increases in fascicle length, whereas those who performed concentric leg extensions underwent greater increases in pennation angle. One possible explanation is that eccentric training may promote the hypertrophy of the distal part of the

understood, RMH seem to happen in the quadriceps femoris, biceps brachii, and triceps brachii muscles. This is supported by the fact that the studies included in our review used the most reliable technology to measure muscle growth (14,36). We also observed a trend favoring hypertrophy of the distal part of quadriceps femoris in response to eccentric training, probably because of the differences in strain found among different regions of the muscle. Unfortunately, there is still not enough evidence to securely state any relationship between a certain training mode and the hypertrophy of a given muscle region, even if the hypertrophy of the distal region of the quadriceps femoris and the eccentric training seems to be an exception.

Conflicts of Interest and Source of Funding: The authors report no conflicts of interest and no source of funding.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge Arkaitz Garbisu-Hualde and Eneko Baz-Valle for their support in the reviewing process.



Aitor Zabaleta-Korta is the head coach at Basque Lifts and PhD student, Department of Physical Education and Sport, Faculty of Education and Sport, Lasarteo atea 71, Basque Country.



Eneko Fernández-Peña is a professor at the University of the Basque Country, Department of Physical Education and Sport, Faculty of Education and Sport, Lasarteo atea 71, Basque Country.



Jordan Santos-Concejero is a professor at the University of the Basque Country, Department of Physical Education and Sport, Faculty of Education and Sport, Lasarteo atea 71, Basque Country.

REFERENCES

- Balsalobre-Fernández C, Santos-Concejero J, Grivas GV. Effects of strength training on running economy in highly trained runners. *J Strength Cond Res* 30: 2361–2368, 2015.
- Barbalho M, Coswig V, Souza D, et al. Back squat vs. Hip thrust resistance-training programs in well-trained women. *Int J Sports Med* 41: 306–310, 2020.
- Barroso R, Roschel H, Gil S, Ugrinowitsch C, Tricoli V. Efeito do número e intensidade das ações excêntricas nos indicadores de dano muscular. *Rev Bras Med do Esporte* 17: 401–404, 2011.
- Beattie K, Kenny IC, Lyons M, Carson BP. The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Med* 44: 845–865, 2014.
- Blazevich AJ, Gill ND, Deans N, Zhou S. Lack of human muscle architectural adaptation after short-term strength training. *Muscle Nerve* 35: 78–86, 2007.
- Calatayud J, Vinstrup J, Jakobsen MD, et al. Mind-muscle connection training principle: Influence of muscle strength and training experience during a pushing movement. *Eur J Appl Physiol* 117: 1445–1452, 2017.
- Carr JA, Ellerby DJ, Marsh RL. Differential segmental strain during active lengthening in a large biarticular thigh muscle during running. *J Exp Biol* 214: 3386–3395, 2011.
- Castanov V, Hassan SA, Shakeri S, et al. Muscle architecture of vastus medialis obliquus and longus and its functional implications: A three-dimensional investigation. *Clin Anat* 32: 515–523, 2019.
- Chen TC, Nosaka K, Sacco P. Intensity of eccentric exercise, shift of optimum angle, and the magnitude of repeated-bout effect. *J Appl Physiol* 102: 992–999, 2007.
- Damas F, Barcelos C, Nobrega SR, et al. Individual muscle hypertrophy and strength responses to high vs. low resistance training frequencies. *J Strength Cond Res* 33: 897–901, 2019.
- Drummond MDM, Szmuchowski LA, Goulart KNO, Couto BP. Effect of strength training on regional hypertrophy of the elbow flexor muscles. *Muscle Nerve* 54: 750–755, 2016.
- Ena R, Wakahara T, Miyamoto N, Kanehisa H, Kawakami Y. Inhomogeneous architectural changes of the quadriceps femoris induced by resistance training. *Eur J Appl Physiol* 113: 2691–2703, 2013.
- Erskine RM, Jones DA, Maffulli N, et al. What causes in vivo muscle specific tension to increase following resistance training? *Exp Physiol* 96: 145–155, 2011.
- Finanger EL, Russman B, Forbes SC, et al. Use of skeletal muscle MRI in diagnosis and monitoring disease progression in Duchenne Muscular Dystrophy. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 23: 1–12, 2012.
- Franchi MV, Atherton PJ, Reeves ND, et al. Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiol* 210: 642–654, 2014.
- Franchi MV, Longo S, Mallinson J, et al. Muscle thickness correlates to muscle cross-sectional area in the assessment of strength training-induced hypertrophy. *Scand J Med Sci Sports* 28: 846–853, 2018.
- Franchi MV, Ruoss S, Valdivieso P, et al. Regional regulation of focal adhesion kinase after concentric and eccentric loading is related to remodelling of human skeletal muscle. *Acta Physiol* 223: e13056, 2018.
- Gajdosik RL, Hallett JP, Slaughter LL. Passive insufficiency of two-joint shoulder muscles. *Clin Biomech* 9: 377–378, 1994.
- Gans C, Bock WJ. The functional significance of muscle architecture—a theoretical analysis. *Ergeb Anat Entwicklungsgesch* 38: 115–142, 1965.
- Herzog W. Why are muscles strong, and why do they require little energy in eccentric action? *J Sport Health Sci* 7: 255–264, 2018.
- Higbie EJ, Cureton KJ, Warren GL III, Prior BM. Effects of concentric and eccentric isokinetic training on muscle strength, cross-sectional area and neural activation. *J Appl Physiol* 81: 2173–2181, 1996.
- Hisaeda H, Miyagawa K, Muraoka I, Kuno SY, Fukunaga T. Influence of two different

- modes of resistance training in female subjects. *Ergonomics* 39: 842–852, 1996.
23. Housh DJ, Housh TJ, Johnson GO, Chu WK. Hypertrophic response to unilateral concentric isokinetic resistance training. *J Appl Physiol* 73: 65–70, 2017.
 24. Huijijng PA, Baan GC. Extramuscular myofascial force transmission within the rat anterior tibial compartment: Proximo-distal differences in muscle force. *Acta Physiol Scand* 173: 297–311, 2001.
 25. Huijijng PA, Jaspers RT. Adaptation of muscle size and myofascial force transmission: A review and some new experimental results. *Scand J Med Sci Sports* 15: 349–380, 2005.
 26. Kawakami Y, Abe T, Kuno SY, Fukunaga T. Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 72: 37–43, 1995.
 27. Loturco I, Gil S, Frota de Souza Laurino C, et al. Differences in muscle mechanical properties between elite power and endurance athletes: A comparative study. *J Strength Cond Res* 29: 1723–1728, 2015.
 28. Martineau LC, Gardiner PF. Insight into skeletal muscle mechanotransduction: MAPK activation is quantitatively related to tension. *J Appl Physiol* 91: 693–702, 2017.
 29. Melnyk JA, Rogers MA, Hurley BF. Effects of strength training and detraining on regional muscle in young and older men and women. *Eur J Appl Physiol* 105: 929–938, 2009.
 30. de Morton NA. The PEDro scale is a valid measure of the methodological quality of clinical trials: A demographic study. *Aust J Physiother* 55: 129–133, 2009.
 31. Narici MV, Hoppeler H, Kayser B, et al. Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiol Scand* 157: 175–186, 1996.
 32. Narici MV, Roi GS, Landoni L, Minetti AE, Cerretelli P. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 59: 310–319, 1989.
 33. OCEBM Levels of Evidence Working Group. *Home-CEBM. The Oxford 2011 Levels of Evidence*. Oxford, UK: Oxford Centre for Evidence-Based Medicine, 2011.
 34. Olsen LA, Nicoll JX, Fry AC. The skeletal muscle fiber: A mechanically sensitive cell. *Eur J Appl Physiol* 119: 333–349, 2019.
 35. Onmez GTS, Lvar BRAA, Schoenfeld BJ, et al. Effects of different volume-equated resistance training loading strategies on muscular adaptations in well-trained men. *J Strength Cond Res* 28: 2909–2918, 2014.
 36. Park JH, Olsen NJ. Utility of magnetic resonance imaging in the evaluation of patients with inflammatory myopathies. *Curr Rheumatol Rep* 3: 334–345, 2001.
 37. Ribeiro AS, Aguiar AF, Schoenfeld BJ, et al. Effects of different resistance training systems on muscular strength and hypertrophy in resistance-trained older women. *J Strength Cond Res* 32: 545–553, 2018.
 38. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res* 24: 2857–2872, 2010.
 39. Schoenfeld BJ, Pope ZK, Benik FM, et al. Longer intersert rest periods enhance muscle strength and hypertrophy in resistance-trained men. *J Strength Cond Res* 30: 1805–1812, 2016.
 40. Seynnes OR, de Boer M, Narici MV. Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *J Appl Physiol* 102: 368–373, 2007.
 41. Tikkanen O, Haakana P, Pesola AJ, et al. Muscle activity and inactivity periods during normal daily life. *PLoS One* 8: e52228, 2013.
 42. Tomeleri CM, Ribeiro AS, Nunes JP, et al. Influence of resistance-training exercise order on muscle strength, hypertrophy and anabolic hormones in older women: A randomized controlled trial. *J Strength Cond Res*, 2019 [Epub ahead of print].
 43. Valamatos MJ, Tavares F, Santos RM, Veloso AP, Mil-Homens P. Influence of full range of motion vs. equalized partial range of motion training on muscle architecture and mechanical properties. *Eur J Appl Physiol* 118: 1969–1983, 2018.
 44. Wakahara T, Fukutani A, Kawakami Y, Yanai T. Nonuniform muscle hypertrophy. *Med Sci Sports Exerc* 45: 2158–2165, 2013.
 45. Watanabe K, Kouzaki M, Moritani T. Task-dependent spatial distribution of neural activation pattern in human rectus femoris muscle. *J Electromyogr Kinesiol* 22: 251–258, 2012.
 46. Yasuda T, Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T. Effects of detraining after blood flow-restricted low-intensity concentric or eccentric training on muscle size and strength. *J Physiol Sci* 65: 139–144, 2015.

Estudio 2

Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., Torres-Unda, J., Garbisu-Hualde, A., & Santos-Concejero, J. (2021). The role of exercise selection in regional Muscle Hypertrophy: A randomized controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 20(39), 2298–2304. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1929736>

Indicador de calidad: ISI-JCR IF 3.943. 26/88. SPORT SCIENCES 2022 (Q2)



The role of exercise selection in regional Muscle Hypertrophy: A randomized controlled trial

Aitor Zabaleta-Korta, Eneko Fernández-Peña, Jon Torres-Unda, Arkaitz Garbisu-Hualde & Jordan Santos-Concejero

To cite this article: Aitor Zabaleta-Korta, Eneko Fernández-Peña, Jon Torres-Unda, Arkaitz Garbisu-Hualde & Jordan Santos-Concejero (2021): The role of exercise selection in regional Muscle Hypertrophy: A randomized controlled trial, Journal of Sports Sciences, DOI: [10.1080/02640414.2021.1929736](https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1929736)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1929736>



Published online: 10 Jul 2021.



Submit your article to this journal [↗](#)



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=rjsp20>

The role of exercise selection in regional Muscle Hypertrophy: A randomized controlled trial

Aitor Zabaleta-Korta^a, Eneko Fernández-Peña^a, Jon Torres-Unda^b, Arkaitz Garbisu-Hualde^a and Jordan Santos-Concejero^a

^aDepartment of Physical Education and Sport, University of the Basque Country UPV/EHU, Vitoria-Gasteiz, Spain; ^bDepartment of Physiology, Faculty of Medicine and Nursing, University of the Basque Country UPV/EHU, Vitoria-Gasteiz, Spain

ABSTRACT

There is emerging evidence suggesting that muscle growth is not homogeneous through the muscle. The aim of the present study was to analyse the role of exercise selection in regional hypertrophy. Two randomly allocated groups with equal training volume and intensity performed squats in the smith machine (SMTH group) or the leg extension exercise (LEG group). Growth in proximal, central and distal regions of the *rectus femoris* (RF) and *vastus lateralis* (VL) muscles, jump height and body composition were analysed. Results show that the three regions of RF grew significantly in the participants of the LEG group ($p < 0.05$), while only the central region of VL grew significantly in the SMTH group ($p < 0.05$). In summary, this study confirms that exercise selection plays a role in regional hypertrophy. Whilst there may be still other factors that determine how muscles grow, it seems that the chosen exercises may be responsible of the differences observed in this study.

ARTICLE HISTORY

Accepted 10 May 2021

KEYWORDS

Inhomogeneous; quadriceps femoris; strength; growth; squat; leg extension

Introduction

Skeletal muscle hypertrophy can be defined as the increase in muscle fibre cross-sectional area (CSA) that is accompanied by an increase in muscle volume and mass. This muscle growth can occur in response to regular mechanical stimuli (Wackerhage et al., 2019), and it may not be homogeneous between the different heads of a muscle (Zabaleta-Korta et al., 2020). Muscle growth has also been shown to differ among the different regions of a single muscle head (Zabaleta-Korta et al., 2020).

This phenomenon is known as regional hypertrophy (Zabaleta-Korta et al., 2020) and the origin of this region-specific response to mechanical stimuli remains unknown. To date, it is not possible to establish a pattern of a region-specific growth in a muscle in response to different exercises. However, previous research suggests that eccentric movements imply an increased hypertrophy in the region closest to the knee in the *quadriceps femoris* (Franchi et al., 2014, 2018). Other authors have reported a regional increase in the muscle CSA at higher absolute intensities when compared to the same exercise at lower absolute intensities (Ema et al., 2013).

Recently, Costa et al. compared the growth of the *quadriceps femoris* when performing a single exercise vs. performing multiple exercises (Bd De V et al., 2021). The authors hypothesized that performing multiple exercises would make all the regions of the muscle grow to a similar degree, due to the varying stimuli, while regional hypertrophy would happen in the group that only did one exercise. However, regional hypertrophy was found in both groups, and consequently, the question arises whether this result was influenced by the exercises selected. Since one of the groups performed multiple exercises,

this question cannot be answered with the data provided by this study.

The present study aimed to answer this question and to understand the implications of exercise selection for regional hypertrophy. We compared two different lower body exercises: the leg extension exercise (LEG) and the squat exercise performed in the Smith machine (SMTH). We measured the regional hypertrophic responses in different heads of the *vastus Medialis* (VM), the *vastus lateralis* (VL) and the *rectus femoris* (RF). We hypothesized that muscle adaptations would differ between both exercises. The leg extension exercise should elicit the growth of VM and VL and not RF, because of the lack of movement at the hip level, while the squat should make the RF and the rest of the muscle heads grow to a similar degree due to role of the RF as a hip flexor.

Methods

Subjects

Thirty-four healthy men (age = 25.4 ± 4.8 years; body mass = 76.3 ± 7.7 kg; height = 1.76 ± 6.5 cm; body fat percentage = $10.6 \pm 2.1\%$; percentage of lean body mass = $89.4 \pm 2.1\%$) with at least 2 years of resistance training experience joined this investigation. Participants were required to meet the following inclusion criteria: 1) men age ranging between 18 and 40 years; 2) lack of musculoskeletal disorders; and 3) experienced on resistance training defined as consistently lifting weights at least 3 times per week for 2 years. A total of 27 participants completed the study. Four participants dropped out because of a relative tested positive for SARS-COVID19, and

three subjects dropped out for personal reasons not related to the study. Written informed consent was obtained from each participant after a thorough explanation of the testing protocol, the possible risks involved, and the right to terminate participation at will. The study was approved by the Institutional Review Board of the University of the Basque Country UPV/EHU (ref. 118/2019) and all procedures were done in accordance with the declaration of Helsinki (2013).

Procedures

Measurements were performed 2 days prior to the beginning of the training programme and 72–96 h after the end of it. Measurements lasted ~ 45' and testing sessions were carefully scheduled to ensure that the same number of hours were left since the end of the training protocol. During the day of the first measurements, participants were randomly allocated into the SMTH and LEG groups. Participants in the SMTH group completed a 5-week resistance training programme consisting of 4 sets of 12 repetitions of deep squats on the smith machine three times per week taking each set to muscular failure. The participants of the SMTH group were trained to descend until the femur was parallel to the floor, or lower, in each repetition. Participants in the LEG group completed a 5-week resistance training programme consisting of 4 sets of 12 repetitions of the leg extension exercise taking each set to muscle failure. In this group, participants had to perform the larger range of motion possible. Participants in both groups were requested not to perform any other lower body resistance or power training, and they were also encouraged not to perform strenuous lower body activities during the period of the study. Weekly training volume consisted of 12 weekly sets. Baz-Valle et al. (2018) for the lower limbs and varied between 60 and 85 sets for the rest of the muscles (depending on the number of days that each subject trained).

Participants were allowed to perform upper body resistance exercises at will, and they were offered a standardized resistance training programme that involved both the corresponding lower body exercise and upper body exercises. Training was periodized in a flexible fashion: the first day, participants were told to adjust the weight so that they could reach muscular failure at 12 repetitions. For that purpose, participants were told to choose a weight that would make them reach but not exceed 12 repetitions on their exercise. If they were able to perform 1–3 extra repetitions with the chosen weight, they had to add 2.5 kg in the smith machine (or one more plate in the case of some leg extension machines). If they fell 1–3 repetitions short, they had to take 2.5 kg out of the smith machine (or a plate from some leg extension machines).

In subsequent weeks, participants were told to increase the weight every time they exceeded 12 repetitions with the current weight. Weight increases were too high in the case of some leg extension machines, and for that reason some participants had to perform more repetitions to reach muscle failure. In the case of the leg extension exercise, if participants could perform more than 15 repetitions or if they were not able to reach nine repetitions with a given weight, they were trained to add or take out 1–2 resistance levels or plates.

As the duration of each of the leg extension phases has been reported to induce regional hypertrophy Diniz et al. (2020), in

both groups, the eccentric phase of the exercise had to last 2", and the concentric part of the exercise had to be performed as fast as possible. Participants were also requested to rest at least 48 h between training sessions. Resting between repetitions was not allowed, and participants had to rest from 3' to 5' between sets. Training sessions took place at the gyms in which each participant usually trained. To test whether the participants performed the exercises with the correct form, and with the right intensity, each participant had to send a video performing an effective set to the main researcher after every session. In order to be included in the study, participants had to complete at least 13 out of the 15 planned sessions, which accounts for 85% of the programmed training programme. Participants were given an excel spreadsheet to register the weights they lifted each session.

Anthropometric measurements

One day before and 3–4 days after the 5-week intervention, anthropometric characteristics of the participants were measured. Participants were weighed on a calibrated digital scale whilst wearing minimal clothing. Height was measured with a stadiometer attached to the scale with participants standing shoeless and head aligned in the horizontal Frankfurt plane. Eight-site skinfold measurements (in mm) were taken from the biceps, triceps, scapular, abdominal, suprailiac, thigh and medial calf sites according to standard procedures using a skinfold calliper (Harpender1, Baly International, West Sussex, UK). All skinfolds were measured to the nearest 1 mm and the mean of three readings was recorded as the final value for each site. All body composition measurements were taken by the same investigator 24–48 h before and 72–96 h after completion of the training protocol. Body fat percentage was estimated using the equation proposed by Faulkner (1966).

Muscle size

Muscle size or Cross-Sectional Area (CSA) was measured using B-mode ultrasound imaging (GE LOGIQTM e, GE Healthcare, WI, USA) with a linear-array transducer (code 12 L-RS, variable frequency band 4.2–13.0 Mhz) (Hacker et al., 2016). Measurements were performed by an experienced technician with participants in a supine position, with arms and legs extended and relaxed. Prior to testing, participants remained in this position for 10 minutes to allow for stabilization of normal body fluids. The technician then applied a water-soluble transmission gel (Aquasonic 100 Ultrasound Transmission gel; Parker Laboratories Inc., Fairfield, NJ, USA) to each measurement site and a 9 MHz ultrasound probe was placed parallel to the tissue interface without depressing the skin. When the quality of the image was deemed as satisfactory, the technician saved the image to the hard drive and obtained CSA dimensions of the *vastus lateralis* (VL), *vastus medialis* (VM) and *rectus femoris* (RF) surrounding the muscles without including fascia or bone (Ruas et al., 2017) (Figure 1). Areas were measured using the polygon function of ImageJ software (Kim et al., 2020). Measurements were taken on the right side of the body at three different sites in the case of VL and RF. For VM, just two sites (25% and 50% of femur length) were considered because of its shorter nature. Measurements were taken at 25%, 50% and 75% of the distance between the lateral condyle of the femur and greater trochanter for the

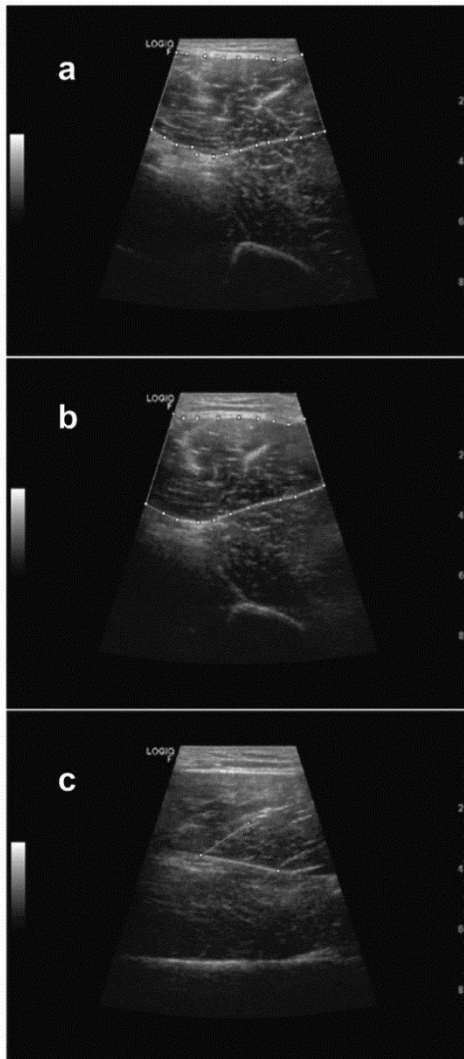


Figure 1. Measurement of the proximal region of the *rectus femoris* prior to the Intervention (A). Measurement of the proximal region of the *rectus femoris* after the intervention (B). Measurement of the pennation angle of the central region of the *rectus femoris* prior to the intervention (C).

central (RF) and lateral (VL) aspects of the thigh. Three images were taken at each site and the values were averaged to obtain a final measurement. In an effort to help ensure that swelling in

the muscles from training did not obscure results, participants were told not to train 72 hours prior to the measurements. This timeframe is consistent with research showing that acute increases in muscle thickness return to baseline within 48 h following a resistance training session (Ogasawara et al., 2012).

Pennation angle

When the technician finished analysing the CSA of the area in which the pennation angle was going to be measured, the probe was placed perpendicular to the tissue interface without depressing the skin. When the quality of the image was deemed as satisfactory, the technician saved the image to the hard drive and obtained pennation angle of the central region of RF and VL and proximal region of VM by measuring the angle of the intersection between fascicle and the deep tendon aponeurosis (Figure 1).

Jumping performance

To measure jumping performance, participants performed three counter-movement jumps (CMJ) before and after the intervention period. After a standardized warm-up consisting of light aerobic cycling, active warm-up exercises and body weight squats, participants were taught how to correctly perform a CMJ. After 2 trials and a 3' rest, participants performed three jumps that were measured by the Optojump photoelectric cells (Microgate, Bolzano, Italy). The photoelectric cells consisted of two parallel bars (one receiver and one transmitter unit, each measuring 100x4x3 cm) that were placed approximately 1 m apart and parallel to each other. The device was calibrated according to the manufacturer's instructions (Glatthorn et al., 2011). The best of three jumps was considered for further analysis. Participants were asked to maintain an eucaloric diet or to stay in a slight energy surplus (as explained in the next paragraph). In the absence of a power-oriented training, it was considered that improvements in the maximal jump height were caused by an increase in lower body strength.

Dietary adherence

To avoid the potential for dietary confounding, participants were given a document in which they were instructed to reach $2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ of protein intake. First, they were taught how to calculate how much protein they needed according to their bodyweight. Then, they were instructed on how to reach that amount with examples of different dishes and were requested to include at least 20 g of protein per meal divided into 3 to 5 meals with at least 3 hours between them. Participants were also trained to be in an eucaloric diet or slight energy surplus. Participants also agreed not to take any supplements that could interfere with the study outcomes (such as creatine or whey protein).

Statistical analyses

We tested all variables for normal distribution (Shapiro-Wilk test) and homogeneity of variances (Levene's test). An independent samples student *t*-test was used on pre-intervention muscle cross-sectional area and pennation angle data to check

Against this theory, we observed that the growth response of VL was not as large as in the RF. This makes sense in the case of the SMTH group as this exercise implies the maximum resistance when the knees are totally flexed and the moment arm of the VL is the smallest. However, in the leg extension exercise the largest moment arm of VL is at the total extension of knee joint. Surprisingly, the only exercise in which the VL grew was the squat in the smith machine, which according to this force/resistance hypothesis should not elicit a large effect to the VL. Therefore, the most probable cause of regional hypertrophy would be a combination of the demands imposed to the muscle and other factors more related to the disposition of the muscle to grow.

We cannot assure that regional hypertrophy does not happen by chance yet, as it may be caused by variables like genetics, sex or age. Even if evidence fails to explain why the regional hypertrophy does happen, we still do not know whether it is a response to mechanical stimuli, or just the normal pattern of growth that a muscle may follow after any type of mechanical stimuli. Interestingly, animal models have already shown unequal adaptations in different regions of a muscle after the same stimuli, maybe due to the distinct architecture of each analysed region (Butterfield and Herzog, 2006). Previous research also suggests that there may be other factors that could influence the regional muscle hypertrophy responses. For example, a recent study reported that the speed at which each phase of an exercise is performed may modify the region-specific response of the quadriceps muscle (Diniz et al., 2020). These authors proposed that the time spent in each phase of an exercise change the torque at the knee joint and thus, this could be responsible for this regional response of growth. As strength gains are mode dependent (Paschalis et al., 2011; Margaritelis et al., 2021) it seems reasonable to think that muscle hypertrophy would also follow a mode dependent growth pattern. However, there may be other unknown factors playing a role in the regional hypertrophy responses of a muscle.

Finally, it is worth noting that participants in the SMTH group increased their vertical jump significantly while participants in the LEG group did not (Table 4). This can be easily explained by the specificity principle. The exercise that the SMTH group did for 5 weeks was much more similar to a vertical jump (involving both hip and knee extensions) compared to the one that the participants in the LEG group did (involving only knee extensions). The bodyweight of the subjects did not change from the beginning to the end of the study (Table 4), which shows that they were actually in a slight caloric surplus, and that

improvements in vertical jump were due to the exercise they performed and not because of changes in their body mass.

Our study faced several limitations. First, the study lasted only 5 weeks, which can be considered short. Even if some studies confirm that a muscle begins to grow three weeks after the onset of an exercise program (Seynnes et al., 2007) we know that muscle growth would have been larger with a few extra weeks of training. However, considering that the study consisted in taking each set to muscular failure, it was designed to increase participants adherence to the study. Because of the duration of the study, we consider that participants of the SMTH group were in disadvantage to grow. Almost every participant in the SMTH group complaint for sore muscles during the first 3 weeks of training. Sore muscles, or delayed onset muscle soreness (DOMS), is an indicator of muscle damage, which has been reported to attenuate muscle growth (Damas et al. 2016). Therefore, part of the expected increase in muscle protein synthesis (MPS) caused by weight training in this group may have been used to compensate the muscle protein breakdown (Damas et al., 2016). This may explain, at least in part, the lesser growth of RF and VL of SMTH group after the intervention, although, since no direct indicator of muscle damage were measured, we cannot attribute the findings to muscle damage (Margaritelis et al., 2021).

Another limitation was that the weight increases were too large in the case of some leg extension machines, and for that reason some participants had to perform more repetitions to reach muscular failure. However, some authors found no difference on muscle hypertrophy when performing a different amount of repetitions as far as training volume and intensity were equated (Baz-Valle et al., 2019). For this reason, we consider that participants performing a few more repetitions (they never exceeded 16) had no influence on the outcomes of the study. It is worth noting that in the study, we used ultrasounds (US) instead of Magnetic Resonance Imaging (MRI), which is considered the gold standard. However, there is a strong correlation ($\rho = 0.88$) between the CSA measured with MRI, and the one measured with US (Hacker et al., 2016). Lastly, even if participants were trained to consume enough protein and to maintain an eucaloric diet, they were not supervised. At the same time, supervision of the training sessions was performed with videos, which made the evaluation of certain technical aspects difficult. However, since almost every participant displayed some kind of growth in the *quadriceps femoris* muscle, we believe that these limitations did not interfere with the results.

In summary, this study confirms that exercise selection plays a role in regional hypertrophy. Whilst there may be still other factors that determine how muscles grow, it seems that the chosen exercises may be responsible of the differences observed in this study. Future research aiming at unveiling these factors and trying to determine their importance for regional hypertrophy is thus warranted.

Based on these findings, coaches and athletes may prioritize the leg extension exercise for sports where there is a high demand of the *rectus femoris* muscle (i.e. in soccer) (Mendiguchia et al., 2013). Similarly, bodybuilders who seek for homogeneity in the development of their lower limbs,

Table 4. Changes in anthropometrical characteristics and strength during the intervention.

GROUP	Variable	PRE	POST	% change
SMTH	Body mass (kg)	76.9 ± 6.3	78.1 ± 6.5*	1.6
	Fat %	11 ± 2.4	12.9 ± 9.8	17.2
	CMJ (cm)	36.4 ± 4.8	37.8 ± 4.6*	3.9
LEG	Body mass (kg)	75.7 ± 9.1	76.5 ± 8.8	1.2
	Fat %	10.2 ± 1.8	10.2 ± 1.8	0.1
	CMJ (cm)	36.3 ± 5.5	36.4 ± 6.1	0.3

CMJ, countermovement jump.

*Significantly different compared to PRE.

should be encouraged to perform the leg extension exercise when aiming for RF hypertrophy. In contrast, to improve jumping performance or to address weakness of the VL, which may cause an imbalance between the power of VL and VM, and ultimately lead to injury (such as a displacement of the patella (Kapandji, 2010)), performing squats in the smith machine seems the best choice.

Acknowledgments

We want to acknowledge Imanol Morante for helping in the data acquisition.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

ORCID

Aitor Zabaleta-Korta  <http://orcid.org/0000-0001-5455-7937>
Jordan Santos-Concejero  <http://orcid.org/0000-0001-9467-525X>

References

- Baz-Valle, E., Fontes-Villalba, M., & Santos-Concejero, J. (2018). Total Number of Sets as a Training Volume Quantification Method for Muscle Hypertrophy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(3), 870–878. doi: 10.1519/JSC.0000000000002776.
- Baz-Valle, E., Schoenfeld, B. J., Torres-Unda, J., Santos-Concejero, J., & Balsalobre-Fernández, C. (2019). The effects of exercise variation in muscle thickness, maximal strength and motivation in resistance trained men. In *PLoS ONE* (pp. 14).
- Costa, Bd De V., Kassiano, W., Jp, N., Kunevaliki, G., Castro-E-Souza, P., Rodacki, A., Lt, C., Es, C., & Fortes L De, S. (2021). Does Performing Different Resistance Exercises for the Same Muscle Group Induce Non-homogeneous Hypertrophy? *International Journal of Sports Medicine*. January 2021 <https://doi.org/10.1055/a-1308-3674>
- Butterfield, T. A., & Herzog, W. (2006). The magnitude of muscle strain does not influence serial sarcomere number adaptations following eccentric exercise. *Pflugers Archiv European Journal of Physiology*, 451(5), 688–700. <https://doi.org/10.1007/s00424-005-1503-6>
- Damas, F., Phillips, S. M., Libardi, C. A., Vechin, F. C., Lixandráo, M. E., Jannig, P. R., Costa, L. A. R., Bacurau, A. V., Snijders, T., Parise, G., Tricoli, V., Roschel, H., & Ugrinowitsch, C. (2016). Resistance training-induced changes in integrated myofibrillar protein synthesis are related to hypertrophy only after attenuation of muscle damage. *Journal of Physiology*, 594(18), 5209–5222. <https://doi.org/10.1113/jp272472>
- Diniz, R. C. R., Tourino, F. D., Lacerda, L. T., Martins-Costa, H. C., Lanza, M., Pdfce, B., & Fv, L. (2020). Does the Muscle Action Duration Induce Different Regional Muscle Hypertrophy in Matched Resistance Training Protocols? *Journal of Strength & Conditioning Research, Publish Ahead of Print*. Ahead of p:Na. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003883>
- Ema, R., Wakahara, T., Miyamoto, N., Kanehisa, H., & Kawakami, Y. (2013). Inhomogeneous architectural changes of the quadriceps femoris induced by resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, 113(11), 2691–2703. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2700-1>
- Faulkner, J. A. (1966). Physiology of swimming. *Research Quarterly of the American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 37(1), 41–54. <https://doi.org/10.1080/10671188.1966.10614734>
- Franchi, M. V., Atherton, P. J., Reeves, N. D., Flück, M., Williams, J., Mitchell, W. K., Selby, A., Beltran Valls, R. M., & Narici, M. V. (2014). Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiologica*, 210(3), 642–654. <https://doi.org/10.1111/apha.12225>
- Franchi, M. V., Ruoss, S., Valdivieso, P., Mitchell, K. W., Smith, K., Atherton, P. J., Narici, M. V., & Flück, M. (2018). Regional regulation of focal adhesion kinase after concentric and eccentric loading is related to remodelling of human skeletal muscle. *Acta Physiologica*, 223(3), 223. <https://doi.org/10.1111/apha.13056>
- Glatthorn, J. F., Gouge, S., Nussbaumer, S., Stauffacher, S., Impellizzeri, F. M., & Maffuletti, N. A. (2011). Validity and reliability of optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 556–560. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ccb18d>
- Goss-Sampson, M. A. (2020). *Statistical analysis in JASP a guide for students* (pp. 68–70). University of Amsterdam, department of psychology & psychological methods unit.
- Hacker, E. D., Peters, T., & Garkova, M. (2016). Ultrasound Assessment of the Rectus Femoris Cross-Sectional Area: Subject Position Implications. *Western Journal of Nursing Research*, 38(9), 1221–1230. <https://doi.org/10.1177/0193945916644751>
- Hisaeda, H., Miyagawa, K., Muraoka, I., Kuno, S. Y., & Fukunaga, T. (1996). Influence of two different modes of resistance training in female subjects. *Ergonomics*, 39(6), 842–852. <https://doi.org/10.1080/10140139608964505>
- Kapandji, I. (2010). *Physiology of the joints*. Churchill-Livingston. ISBN is: 9781455725205.
- Kim, S. J., Kim, T. H., Jeong, C. W., Lee, C. S., & Noh, S. H. (2020). Development of quantification software for evaluating body composition contents and its clinical application in sarcopenic obesity. *Scientific Reports*, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56847-4>
- Margaritelis, N. V., Theodorou, A. A., Chatzinikolaou, P. N., Kyparos, A., Nikolaidis, M. G., & Paschalis, V. (2021). Eccentric exercise per se does not affect muscle damage biomarkers: Early and late phase adaptations. *European Journal of Applied Physiology*, 121(2), 549–559. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04528-w>
- Mendiguchia, J., Alentorn-Geli, E., Idoate, F., & Myer, G. D. (2013). Rectus femoris muscle injuries in football: A clinically relevant review of mechanisms of injury, risk factors and preventive strategies. *British Journal of Sports Medicine*, 47(6), 359–366. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091250>
- Ogasawara, R., Thiebaud, R., Loenneke, J., Loftin, M., & Abe, T. (2012). Time course for arm and chest muscle thickness changes following bench press training. *Interventional Medicine and Applied Science*, 4(4), 217–220. <https://doi.org/10.1556/imas.4.2012.4.7>
- Olejnik, S., & Generalized Eta, A. J. (2003). Omega Squared Statistics: Measures of Effect Size for Some Common Research Designs. *Psychological Methods*, 8(4), 434–447. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.8.4.434>
- Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Theodorou, A. A., Panayiotou, G., Fatouros, I. G., Koutedakis, Y., & Jamurtas, A. Z. (2011). A weekly bout of eccentric exercise is sufficient to induce health-promoting effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(1), 64–73. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181e91d90>
- Ruas, C. V., Pinto, R. S., Lima, C. D., Costa, P. B., & Brown, L. E. (2017). Test-Retest Reliability of Muscle Thickness, Echo-Intensity and Cross Sectional Area of Quadriceps and Hamstrings Muscle Groups Using B-mode Ultrasound. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, 5(1), 35. <https://doi.org/10.7575/aiac.ijkss.v.5n.1p.35>
- Seynnes, O. R., De Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 102(1), 368–373. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00789.2006>
- Visser, J. J., Hoogkamer, J. E., Bobbert, M. F., & Huijing, P. A. (1990). Length and moment arm of human leg muscles as a function of knee and hip-joint angles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(5–6), 453–460. <https://doi.org/10.1007/BF00236067>
- Wackerhage, H., Schoenfeld, B. J., Hamilton, D. L., Lehti, M., & Hulmi, J. J.

- (2019). Stimuli and sensors that initiate skeletal muscle hypertrophy following resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 126(1), 30–43. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00685.2018>
- Walker, S., Hulmi, J. J., Wernbom, M., Nyman, K., Kraemer, W. J., Ahtiainen, J. P., & Häkkinen, K. (2013). Variable resistance training promotes greater fatigue resistance but not hypertrophy versus constant resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, 113(9), 2233–2244. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2653-4>
- Watanabe, K., Kouzaki, M., & Moritani, T. (2012). Task-dependent spatial distribution of neural activation pattern in human rectus femoris muscle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(2), 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2011.11.004>
- Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., & Santos-Concejero, J. (2020). Regional Hypertrophy, the Inhomogeneous Muscle Growth. *Strength and Conditioning Journal*, Publish Ah, 1–8. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000574>

Estudio 3

Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., Torres-unda, J., Francés, M., Zubillaga, A., & Santos-Concejero, J. (2023). Regional Hypertrophy : The Effect of Exercises at Long and Short Muscle Lengths in Recreationally Trained Women. *Journal of Human Kinetics, Ahead of p.* <https://doi.org/10.5114/jhk/163561>

Indicador de calidad: ISI-JCR IF 2.923. 43/88. SPORT SCIENCES 2022 (Q2)



Regional Hypertrophy: The Effect of Exercises at Long and Short Muscle Lengths in Recreationally Trained Women

by

Aitor Zabaleta-Korta ^{1,*}, Eneko Fernández-Peña ¹, Jon Torres-Unda ²,
Maidier Francés ², Asier Zubillaga ¹, Jordan Santos-Concejero ¹

*The aim of the present study was to analyse the role of exercises' resistance profile in regional hypertrophy. Thirty-eight healthy women completed a 9-week resistance training program consisting of either 4 sets of 12 repetitions to volitional failure of inclined bicep curls (INC group) or preacher curls (PREA group), three times per week. Pre- and post-intervention muscle thickness was measured using B-mode ultrasound imaging with a linear-array transducer. Scan acquisition sites were determined by measuring 50%, 60% and 70% of the distance between the posterior crest of the acromion and the olecranon. Statistical significance was set at $p < 0.05$. No region of the INC group grew when comparing pre- to post-intervention. The 70% region of the PREA group grew significantly (muscle thickness increased from 2.7 ± 0.43 cm to 2.94 ± 0.44 cm). We found no growth differences between regions when analysing per group ($p = 0.274$), region ($p = 0.571$) or group*region ($p = 0.367$). Our results show that the distal region of the arm grows in response to the preacher curl that places the highest amount of strain in the range of motion in which the arm muscles are more elongated.*

Keywords: muscle growth; selective hypertrophy; strength; variable resistance; muscle architecture

Introduction

Muscle growth, also known as muscle hypertrophy, is a complex process highly dependent on mechanical force (Schoenfeld et al., 2021; Wackerhage et al., 2019). It is related to performance improvements in many sports (Storey and Smith, 2012), and since a high muscle mass implies a lower mortality risk in different populations, it is important for health professionals to know how to prescribe exercise appropriately (Sedlmeier et al., 2021; Srikanthan et al., 2016; Srikanthan and Karlamangla, 2014; Wannamethee et al., 2007).

Muscle does not grow homogeneously (Franchi et al., 2018c; Matta et al., 2011; Narici et al., 1989; Nosaka and Sakamoto, 2000) as it can differ between the heads of a muscle and even between the different regions of a single head (Zabaleta-Korta et al., 2020). This phenomenon, known as regional hypertrophy, has drawn a considerable

amount of attention in recent years (Diniz et al., 2020; Maeo et al., 2021; Martins-Costa et al., 2021). Several factors seem to influence regional hypertrophy, including exercise selection, a different number of repetitions with a normalized time under tension (Martins-Costa et al., 2021; Wilk et al., 2021), time spent in the concentric and eccentric phases of an exercise (Diniz et al., 2020), training at different muscle lengths (Maeo et al., 2021) or even performing only concentric/eccentric exercises (Franchi et al., 2014, 2018c). In all those studies, applied muscle force appears to be an important factor that somehow shapes which region of muscle will grow.

Recently, Zabaleta-Korta et al. (2021) found that exercise selection might elicit different regional hypertrophy stimuli. In that study, authors tested whether regional hypertrophy found after performing leg extensions was different to the one elicited by squats performed on

¹ Sports and Education Department, University of the Basque Country (UPV/EHU), Vitoria-Gasteiz, Spain.

² Physiotherapy Department, University of the Basque Country (UPV/EHU), Leioa, Spain.

* Correspondence: aitorzabaletakorta@gmail.com



the Smith machine in young men. For that purpose, they divided subjects into two groups and each group performed one exercise. After the intervention, hypertrophy of two regions in two different muscle heads was compared between and within regions. The authors found that exercise selection had an influence on regional hypertrophy, as it was different even if both groups had followed the same volume and intensity protocol. However, since the exercises studied had different resistance profiles (meaning they placed strain in different parts of the range of motion (RoM)), it was not possible to know whether the regional hypertrophy reported was due to the exercise selection or because the maximum resistance that the involved joints had to overcome occurred at different muscle lengths. Despite this limitation, those findings suggest that regarding the leg extension, the fact that the hip joint does not move while the knee extends may elicit more stimuli for the rectus femoris muscle. For the Smith machine squats, it can be inferred from those results that the vastus lateralis gets more growth stimuli in exercises that are similar to squats.

Comparisons between exercises with different resistance profiles such as bicep preacher curls and inclined bicep curls, defined as the degree of resistance in each part of the RoM of a joint, have been reported previously (Maeo et al., 2021; Wakahara et al., 2013), but not with the specific aim of reporting the effects of resistance profiles on regional hypertrophy. This may have confounding effects on our interpretation of the results and thus, the aim of the present study was to analyze the role of exercises with different resistance profiles in regional hypertrophy. For that purpose, inclined bicep curl and preacher bicep curl exercises were compared in three different regions of the arm. The first exercise places the highest amount of strain (represented as the greatest difficulty of the exercise) at the end of the exercise (Loss and Candotti, 2008), when the arm is at 90–100° flexion, while the latest places the highest amount of strain at the beginning (Loss and Candotti, 2008), with a considerable amount of elongation in the biceps brachii and brachialis muscles. In addition, we decided to perform the study in recreationally trained women, as most regional hypertrophy studies have analyzed this phenomenon in men. We hypothesized that the

preacher curl would elicit greater muscle growth in the distal part of the biceps, as reported by previous research in which the highest strain occurred when the muscle was elongated (Nosaka and Sakamoto, 2000).

Methods

Participants

Thirty-eight healthy women joined this study. Participants were required to meet the following inclusion criteria: 1) women with an age ranging between 18 and 45 years; 2) lack of musculoskeletal disorders in the upper limbs at least one year prior to the beginning of the study, and 3) a resistance training experience of at least 6 months prior to the beginning of the study.

A total of 31 participants finished the study. Two participants dropped out because they tested positive for SARS-COVID19 and five participants dropped out for personal reasons not related to the study. Written informed consent was obtained from each participant after a thorough explanation of the testing protocol, the possible risks involved and the right to terminate participation at will was provided. The study was approved by the Institutional Review Board of the University of the Basque Country UPV/EHU (ref. 118/2019) and all procedures were conducted in accordance with the Declaration of Helsinki (2013). Participants were analyzed by the intention-to-treat principle in order to avoid the risk of bias (McCoy, 2017) even if two participants did not reach 90% of attendance to the planned training sessions. A priori sample size calculations were carried out according to the AIPE approach (Abt et al., 2020) performed with the ESCI software (Abt et al., 2020). This analysis revealed that to obtain a 95% confidence interval with a standardized mean difference of 0.4 between groups (Abt et al., 2020) and a width of 0.8 (0.4 in each side of the point estimate), each group should include at least 49 participants. Unfortunately, we were unable to reach such a high number of participants, thus the risk of a type II statistical error is high.

Measures

Measurements were performed two days prior to the beginning of the training program and 72–96 h after its end. Measurements lasted ~30 min and testing sessions were carefully scheduled to ensure that the same number of hours were left since the

end of the training protocol. During the day of the first measurements, participants were randomly allocated into the INC and PREA groups, using the RANDOM function of an Excel 2016 spreadsheet.

Training Program

The two experimental groups trained both arms, despite the fact that only one arm was analyzed. This was made to avoid any potential cross-education effect (Lee and Carroll, 2007). Participants in the INC group completed a 9-week resistance training program consisting of 4 sets of 12 repetitions of inclined bicep curls three times per week, performing each set to muscular failure. Inclined bicep curls consisted of performing bicep curls with a dumbbell while lying supine on a bench with 45° inclination. The exercise began with the forearm perpendicular to the floor, and ended when the elbow reached at least a 90° angle, never going beyond 110°. Participants in the PREA group completed the same training protocol, but performed the preacher bicep curl instead of the inclined bicep curl. The preacher bicep curl consisted of performing bicep curls with a dumbbell on a Scott bench. A Scott bench is a specific kind of a bench consisting of a 50° inclined platform where the participant places the arm while performing the curling movement. The exercise began with the forearm parallel to the floor or slightly below, and ended when the forearm formed a 75° angle with the floor, never reaching a position perpendicular to the floor. Participants in both groups were requested to keep the hand always completely supinated to avoid the potential impact that the forearm position has on the recruitment of elbow flexors (Kleiber et al., 2015). They were also requested not to perform any other biceps brachii or pulling exercises (also known as back exercises), that would directly or indirectly affect the stimulus provided by the exercises of the study. To make it easier for participants to organize their training sessions with the conditions of the study, they were offered different training plans according to the number of days they wanted to train. They were also encouraged not to perform strenuous pulling or bicep-demanding activities during the period of the study.

Weekly training volume consisted of 12 weekly sets (Baz-Valle et al., 2018) for the biceps brachii exercise and varied between 60 and 85 sets for the rest of the muscles (depending on the

number of days that each subject trained). This amount of weekly sets follows current guidelines of weekly resistance exercise volume to maximize muscle growth (Baz-Valle et al., 2022).

Training was programmed in a flexible fashion: on the first day, participants were told to adjust the weight so that they could reach muscular failure at 12 repetitions. For that purpose, participants were told to choose a weight that would make them reach, but not exceed 12 repetitions on their exercise. If they were able to perform 1–3 extra repetitions with the chosen weight, they had to use the next heaviest dumbbell. If the weight difference between dumbbells was too high (in some gyms, the weight difference between one dumbbell and the next heaviest one is 2.5 kg, and as most participants lifted 10 kg, that would be a 25% increase), participants were given two options: they could lift a heavier weight and perform as many repetitions as possible trying to reach 12, or perform more repetitions than 12, always reaching volitional failure. Participants were suggested to lift a heavier weight if they could perform more than 6 repetitions with it or to perform more repetitions if they felt they could not, but to never exceed 18 repetitions. We consider that the fact that participants did not perform the same number of repetitions occasionally did not have any effect on the results, as muscle size improvements are not affected by the number of repetitions performed when the repetition range does not exceed 20 or go under 6 (Baz-Valle et al., 2018; Schoenfeld et al., 2021).

As the duration of each of the phases of an exercise seems to induce regional hypertrophy (Diniz et al., 2020), the eccentric phase of the exercise had to last 2 s, and the concentric phase of the exercise had to be performed as fast as possible for participants in both groups. This was emphasized many times to participants because it is known that a longer time under tension can elicit greater muscle growth (Burd et al., 2012). Participants were also requested to rest at least 48 h between training sessions. Resting between repetitions was not allowed, and participants had to rest from 3 to 5 min between sets. Training sessions took place at gyms in which each participant usually exercised. To test whether participants performed the exercises with the correct technique and with the right intensity, each participant had to send a video performing an

effective set to the main researcher after every session. Performing exercises with a bad technique for 3 or more sessions was an exclusion criterion, although none of the participants met it. Participants registered the weight lifted in each set in a mobile phone APP (Dudysolutions version 2.3, 2020 Spain) so that they could see the weight lifted and the repetitions performed in previous sessions, and try perform better.

Muscle Thickness

Muscle size/thickness was measured using B-mode ultrasound imaging (GE LOGIQTM e, GE Healthcare, WI, USA) with a linear-array transducer (code 12 L-RS, variable frequency band 4.2–13.0 MHz, field of view 3.7 mm) by an experienced technician. Measurements were performed with participants in a supine position, with arms and legs extended and relaxed. Prior to testing, participants remained in this position for 10 min to allow for stabilization of normal body fluids. The technician then applied a water-soluble transmission gel (Aquasonic 100 Ultrasound Transmission gel; Parker Laboratories Inc., Fairfield, NJ, USA) to each measurement site and a 9 MHz ultrasound probe was placed parallel to the tissue interface without depressing the skin. When the quality of the image was deemed as satisfactory, the technician saved the image to the hard drive. Scan acquisition sites were determined by measuring 50%, 60% and 70% of the distance between the posterior crest of the acromion and the olecranon as performed in previous research (Matta et al., 2011). When determined, a circle was drawn around the circumference of the arm in those three spots. After that, the center of the biceps brachii muscle was calculated as a line between the coracoid process and the antero-cubital crest. Three scans were taken in the place where both lines crossed at 50%, 60% and 70% of the determined length. Muscle thickness (MT) was considered the average of the three measurements. Thickness was measured using the line straight function of ImageJ software (Kim et al., 2020) in the center of the scan (Figure 1). The technician that performed the scans was blinded for the exercises that each participant had performed. Measurements were taken on the right side of the body.

Anthropometric Measurements

One day before and 3–4 days after the 9-week

intervention, anthropometric characteristics of participants were measured. Participants were weighed on a calibrated digital scale whilst wearing minimal clothing. Body height was measured with a stadiometer attached to the scale with participants standing shoeless and head aligned in the horizontal Frankfurt plane. Eight-site skinfold measurements (in mm) were taken from the biceps brachii, triceps, scapular, abdominal, suprailiac, thigh and medial calf sites according to standard procedures using a skinfold caliper (Harpender1, Baty International, West Sussex, UK). All skinfolds were measured to the nearest 1 mm and the mean of three readings was recorded as the final value for each site. All body composition measurements were taken by the same investigator 24–48 h before and 72–96 h after completion of the training protocol. Body fat percentage (%BF) was estimated using the equation proposed by Faulkner (Faulkner, 1966). It was measured to ensure that participants stayed in a normo-caloric or a caloric-surplus status, and to avoid confounding factors in the ultrasound scans. In some participants, it was not easy to distinguish where the muscle ended and where the skin and subcutaneous fat began. If fat percentage does not increase, any increase in arm thickness cannot be attributed to an increase in fat mass.

Dietary Guidelines

To avoid the potential for dietary confounding, participants were given a document in which they were instructed to reach 2 g·kg⁻¹ of protein intake. First, they were taught how to calculate their protein needs according to their bodyweight. Then, they were instructed on how to reach that amount with examples of different dishes and were requested to include at least 20 g of protein per meal divided into 3 to 5 meals with at least 3 hours between them. Participants were also trained to be in an eucaloric diet or slight energy surplus. Participants also agreed not to take any supplements that could interfere with the study outcomes (such as creatine or whey protein).

Design and Procedures

As the aim of our study was to evaluate the effects of resistance profiles, two exercises with different resistance profiles were chosen for the present study: inclined bicep curls and preacher curls. The first one places the highest strain at the

end of the exercise, with the elbow in a 90°–100° position, with the forearm parallel to the floor (Figure 2). As some people usually flex the elbow to a greater degree in this exercise and our aim was to make the end of the concentric phase the hardest part of the RoM, participants were requested not to flex the elbow more than 110°. The resistance increased along the RoM of the exercise, that is, an ascending resistance curve (Figure 2). The second one places the highest strain at the beginning of the exercise, with the elbow in a 0° position (Figure 2). The resistance decreased along the RoM of the exercise, that is, a descending resistance curve. To minimize the influence that the resistance of other exercises may have on the adaptations to the exercises included in the study, participants could not perform any additional exercise that included an active elbow flexion, i.e., neither exercises that directly targeted the bicep such as biceps curls, nor exercises that indirectly trained it such as pull ups. Even if not performing exercises that involved elbow extension was suggested to the participants, they were allowed to do them.

To assess muscle growth, MT measurements were performed. MT was chosen instead of the cross sectional area (ACSA) as performing reliable ACSA measurements with an ultrasound apparatus is difficult and operator dependant (Hernández-Belmonte et al., 2022). MT was defined as the thickness of all muscles in the arm (biceps brachii and brachialis) in the field-of-view of the probe, from the skin interface to the humerus. This study was designed to evaluate the effects of two exercises between groups. First, we performed a within-region analysis, to verify whether any of the regions grew in response to the exercise performed. Second, to compare growth between regions, a between-region analysis was performed afterwards.

Statistical Analysis

We tested all variables for normal distribution (Shapiro-Wilk test) and homogeneity of variance (Levene's test). An independent sample *t* test was used to check for significant differences in MT and %BF variables prior to the beginning of the study. If the results of the Levene's test were significant, the Welch's correction method was used. To analyze MT differences between regions, first, we transformed the increases in MT into percentage increases (%MT). Then a two-way

ANOVA was performed with %MT as a dependent variable (Factor 1: group, factor 2: region). When there were significant F values for the main effects or interactions, the Tukey *post-hoc* test was used. To analyze within-region changes in muscle thickness, a paired sample *t* test were applied to compare PRE and POST measurements. In the within-region analysis, the Wilcoxon's signed rank test was used when the variable did not have a normal distribution. Effect sizes for the ANOVA were calculated as Partial η squared (η_p^2). They were considered irrelevant (< 0.01), small (0.01–0.06), medium (0.06–0.14) and large (> 0.14) (Goss-Sampson, 2019). Effect sizes for paired sample *t*-tests were calculated using Cohen's *d*, and were considered trivial (< 0.2 , trivial), small (0.2–0.49), moderate (0.5–0.79) and large (≥ 0.8) (Cohen, 1988). An intra-class correlation coefficient test was performed to measure the reliability of the measurement protocol, in a pilot study carried out with ten participants. All the statistical analyses were performed with JASP 0.16 for Mac. The level of significance was set at $p < 0.05$, but was then adjusted using the Benjamin-Hochberg procedure to decrease the False Discovery Rate (FDR $< 5\%$). A pilot study was performed previously to test the reliability of the technician and the ultrasound apparatus. Ten sedentary participants not related to the present study underwent MT measurement protocols in two different days, with at least one week between each measurement. The intraclass correlation coefficient (ICC (3,1)) of the pilot study was calculated using an Excel spreadsheet based on a single rater, absolute agreement and 2-way mixed-effects model, and interpreted as poor (< 0.5), moderate (0.5–0.75), good (0.75–0.9) or excellent (> 0.9) (Koo et al., 2016).

Results

We found no differences in the body fat percentage ($p = 0.18$) prior to the beginning of the study.

Between-Group and Region Analysis

The two-way ANOVA showed no interaction for group ($p = 0.102$, $\eta_p^2 = 0.032$), region ($p = 0.370$, $\eta_p^2 = 0.024$) or group*region ($p = 0.544$, $\eta_p^2 = 0.015$). For this reason, no *post-hoc* analysis was performed.

Within Regions Analysis

Result of the paired sample *t*-test were not significant in the INC group ($p = 0.95$, $d = 0.019$; $p = 0.520$, $d = 0.242$ and $p = 0.536$, $d = 0.193$ in 50%, 60% and 70% regions, respectively).

The 70% region of the PREA group grew significantly ($p = 0.017$, $ES = 0.623$), but in contrast,

neither the 60% region ($p = 0.071$, $ES = 0.503$) nor the 50% region ($p = 0.347$, $ES = 0.263$) grew.

The intra-class correlation coefficient for the technician and the ultrasound apparatus used for the study was ICC (3,1) = 0.96 (CI = 0.93–0.99), showing excellent reliability between measurements, and demonstrating our protocol to be very highly reliable (Munro, 2005).

Table 1. Mean muscle thickness per region in cm ($n = 32$).

	50% PRE	60% PRE	70% PRE	50% POST	60% POST	70% POST
INC	2.19 ± 0.28 [2.04–2.34]	2.3 ± 0.38 [2.09–2.51]	2.74 ± 0.43 [2.51–2.97]	2.24 ± 0.32 [2.06–2.41]	2.41 ± 0.23 [2.28–2.53]	2.81 ± 0.44 [2.57–3.05]
PREA	2.13 ± 0.34 [1.97–2.28]	2.32 ± 0.43 [2.14–2.53]	2.68 ± 0.43 [2.50–2.90]	2.27 ± 0.43 [2.07–2.47]	2.5 ± 0.38 [2.33–2.68]	2.94 ± 0.44 [2.74–3.14]*

INC, inclined biceps curls group; PREA, preacher curls group. Values are Means ± SD [95% CI]

* Significantly different from PRE

Table 2. Two-way ANOVA (Group and region) of the %MT.

	Sum of squares	df	Mean square	F	<i>p</i>	η^2
Group	1336.411	1	1336.411	2.740	0.102	0.032
Region	982.326	2	491.163	1.007	0.370	0.024
Group* region	597.508	2	298.754	0.613	0.544	0.015
Residuals	39992.147	82	487.709			

* Significant value

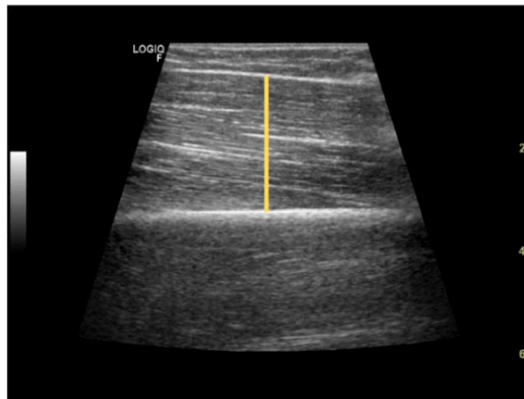


Figure 1. A representative measurement of MT of a subject from an Ultrasound Scan.

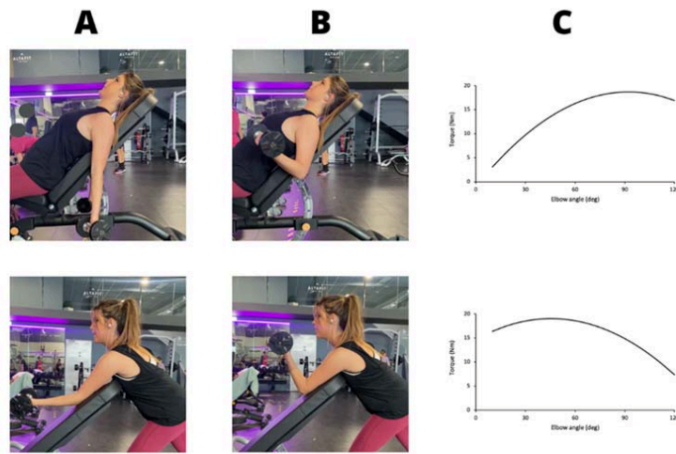


Figure 2. Incline press (INC) and preacher curls (PREA) exercises and their resistance profiles (Loss and Candotti, 2008). A. Initial position; B. Final position; C. Resistance torque during elbow flexion.

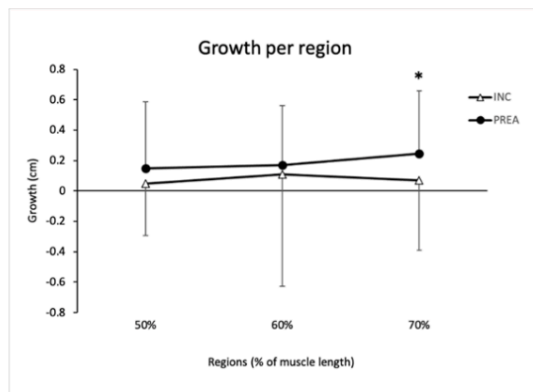


Figure 3. Muscle growth per region (in percentages).
* significantly different from pre

Discussion

The main finding of this study was that the distal region of the arm grew in response to the preacher curl (an exercise with a descending resistance profile), while the rest of the regions of that group and all the regions of the other group did not. In contrast, between-region comparisons showed no growth differences. This means that while the within-region analysis suggests that the resistance profile of an exercise seems to contribute to the growth of a given region inside the arm muscles, results from the between-region analysis show that there may be many other factors influencing regional hypertrophy as well.

The question arises how resistance profile differences can make some regions grow while the rest does not. We suggest three mechanisms that may provide an explanation for this finding. The first mechanism may be the degree of elongation of the muscle during the exercise. Evidence suggests that training at long muscle lengths may increase sarcomere length (Wisdom et al., 2015), which may elicit further increases in muscle size in the distal region. Some studies report that after performing exercises at long muscle lengths, fascicle length increases to a greater degree than muscle growth (Valamatos et al., 2018), and this may partly explain why changes in MT observed in our study were so small. In this regard, our results are in line with previous studies like the one by Sato et al. (2021) that found a greater increase in MT of the distal region of the arm (70% of the distance between the lateral epicondyle and the acromion) after performing preacher curls at long muscle lengths *vs.* short muscle lengths. This suggests that when the arm muscles work at long muscle lengths, the distal region undergoes higher tension than the rest of the muscle (Nosaka and Sakamoto, 2000).

The second mechanism is related to the coordination of the elbow flexors. The brachialis muscle is more present in the distal regions than in the more proximal ones. In fact, in the scans of some participants that were clear enough to discriminate between the biceps and the brachialis muscles, the thickness of the brachialis at the 70% region was twice as the one found at the 50% region. Probably, working at long muscle lengths stimulates the brachialis muscle more than the biceps brachii muscle. However, due to the length-tension relationship of the elbow flexors, elbow

flexion is not very effective at long muscle lengths (Ismail and Ranatunga, 1978). This may have stimulated the brachialis, by far the strongest elbow flexor (Kawakami et al., 1994), to a greater degree than the biceps brachii in the preacher curl exercise.

The third mechanism may be the neural strategy used by each participant to face the requirements of the exercise, as previous research has shown that some people have the ability to selectively choose muscles that perform the same exercise (Avrillon et al., 2021). Recent evidence suggests that the moment generated by each joint can be predicted by decoding the neural signal arriving to the muscles (via HD EMG measurements *in vivo*) (Sartori et al., 2017). Future research on regional hypertrophy should focus on understanding the interplay between the mechanical role of a muscle region and the neural signals it receives, as muscle hypertrophy is a result of both mechanical forces and neural inputs (Alix-Fages et al., 2022).

Regardless of the mechanisms behind the findings of the within-region analysis, it is surprising that no region in the INC group grew, and it is even more surprising that the between-region comparison showed no differences in the regions' growth. However, both groups had a considerable risk of type II statistical error, as 49 participants were needed to reach sufficient statistical power, and neither group reached that number. Thus, the lack of growth may just be a consequence of the small sample size.

In general, the growth observed in the only region is notable (ES = 0.623, medium ES, approximately a 10% increase). One of the reasons why many regions did not experience a significant growth may be that MT was used to assess it. Muscle is a 3-dimensional organ, and as such it can grow in three dimensions. For that reason, the golden standard to measure muscle growth is the Magnetic Resonance Imaging (MRI) (Franchi et al., 2018b). Unfortunately, MRI is difficult to implement and very expensive, and for that reason we chose to measure MT with a b-mode ultrasound apparatus, cheaper and easier to implement. As MT measures only 1D growth, we may have missed part of the growth due to the constraints of our measurement method. Another potential source for the lack of growth in the INC group is the high drop-out rate. Six women dropped out

from the INC group, while only one dropped out from the PREA group. Such a drop-out rate increases the probability of a type II statistical error. However, previous research analyzing an exercise with a resistance profile presumably similar to the one used in the INC group (Nunes et al., 2020) (maximal difficulty close to 90° of elbow flexion) found no growth after 8 weeks of training (Drummond et al., 2016). Therefore, another possible explanation for the lack of growth observed in the INC group may be that this kind of resistance does not provide enough stimuli for the growth of elbow flexors. In contrast, a study by Nunes et al. (2020) analyzing the very same exercise found a 7% increase in MT. These contradictory findings imply that even if the resistance profile of an exercise forces the muscle to work at short muscle lengths (which presumably has less potential for hypertrophy), there must be other factors involved.

This study faced several limitations. Muscle is a three dimensional organ, and for that reason the optimum quantification of its growth is three-dimensional (Franchi et al., 2018a). We performed ultrasound scans, which only allows to perform MT or ACSA measurements. Since the techniques used to measure ACSA from ultrasound scans are too complex and operator dependant (Hernández-Belmonte et al., 2022) and MT has a very high correlation with ACSA (Franchi et al., 2018a), we deemed it an acceptable way to measure muscle growth. The ICC shows a high degree of agreement between measurements, that can also be seen elsewhere and confirm that measuring MT with ultrasound scans is a reliable manner to quantify muscle growth (Franchi et al., 2018a; Palmer et al., 2015). However, we could not

distinguish whether the measured growth was due to the biceps brachii or brachialis muscle in the scans of many participants, which made it difficult to draw conclusions about the reason of this regional MT increase. A reliability analysis for the skinfold technician was not performed, which may also be a source of potential error, and finally, we must admit that the between-group analysis used in this study may have limited its statistical power. This must be taken into account by researchers aiming to investigate in this field, as a within subject analysis using one arm as control may be more appropriate.

Conclusions

In conclusion, this study shows that regional hypertrophy is affected by the resistance profile of an exercise. This means that different regions of a muscle will grow in response to exercises that place the highest difficulty in specific points of the range of motion. In particular, our results show that the distal region of the arm grows in response to exercises that place the highest amount of strain in the range of motion in which the arm muscles are more elongated, but not in those that place the greatest strain when the arm flexors are shortened.

According to the results of this study, the resistance profile of any exercise changes the manner in which the involved muscles grow. For example, when aiming to increase the size of the elbow flexors in the part that is closest to the elbow, using exercises in which the highest strain is posed when muscles are elongated seems to be the best option. This is key in sports such as bodybuilding in which shape, size and symmetry of muscles are evaluated in competition.

Author Contributions: Conceptualization: A.Z.-K., E.F.-P. and J.S.-C.; methodology: A.Z.-K., J.T.-U. and M.F.; software: A.Z.-K. and J.T.-U.; validation: A.Z.-K., E.F.-P. and J.S.-C.; formal analysis: A.Z.-K., E.F.-P. and J.S.-C.; investigation: A.Z.-K. and A.Z.; resources: A.Z.-K.; data curation: A.Z.-K. and A.Z.; writing—original draft preparation: A.Z.-K.; writing—review & editing: A.Z.-K., E.F.-P. and J.S.-C.; visualization: A.Z.-K.; supervision: A.Z.-K., E.F.-P., J.T.-U., M.F., A.Z. and J.S.-C.; project administration: A.Z.-K.; funding acquisition: J.S.-C. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding Information: This research was funded by the Basque Government, Grant number: IT1726-22.

Institutional Review Board Statement: This study was conducted following the principles of the Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board of UPV/EHU (118/2019, 21 November 2019).

Informed Consent: Informed consent was obtained from all participants included in the study.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Received: 18 December 2022

Accepted: 03 April 2023

Published:

References

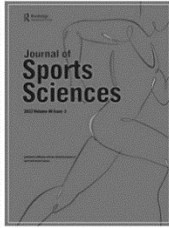
- Abt, G., Boreham, C., Davison, G., Jackson, R., Nevill, A., Wallace, E., & Williams, M. (2020). Power, precision, and sample size estimation in sport and exercise science research. *Journal of Sports Sciences*, 38(17), 1933–1935. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1776002>
- Alix-Fages, C., Del Vecchio, A., Baz-Valle, E., Santos-Concejero, J., & Balsalobre-Fernández, C. (2022). The role of the neural stimulus in regulating skeletal muscle hypertrophy. *European Journal of Applied Physiology*, 122(5), 1111–1128. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-04906-6>
- Avrillon, S., Del Vecchio, A., Farina, D., Pons, J. L., Vogel, C., Umehara, J., & Hug, F. (2021). Individual differences in the neural strategies to control the lateral and medial head of the quadriceps during a mechanically constrained task. *Journal of Applied Physiology*, 130(1), 269–281. <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.00653.2020>
- Baz-Valle, E., Balsalobre-Fernández, C., Alix-Fages, C., & Santos-Concejero, J. (2022). A Systematic Review of the Effects of Different Resistance Training Volumes on Muscle Hypertrophy. *Journal of Human Kinetics*, 81(1), 199–210. <https://doi.org/10.2478/hukin-2022-0017>
- Baz-Valle, E., Fontes-Villalba, M., & Santos-Concejero, J. (2018). Total Number of Sets as a Training Volume Quantification Method for Muscle Hypertrophy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(3), 870–878. doi: 10.1519/JSC.0000000000002776
- Burd, N. A., Andrews, R. J., West, D. W. D., Little, J. P., Cochran, A. J. R., Hector, A. J., Cashaback, J. G. A., Gibala, M. J., Potvin, J. R., Baker, S. K., & Phillips, S. M. (2012). Muscle time under tension during resistance exercise stimulates differential muscle protein sub-fractional synthetic responses in men. *Journal of Physiology*, 590(2), 351–362. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.221200>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences Second Edition* (Second). Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey (USA) <http://www.utstat.toronto.edu/~brunner/oldclass/378f16/readings/CohenPower.pdf> (accessed on 27 July 2022).
- Diniz, R. C. R., Tourino, F. D., Lacerda, L. T., Martins-Costa, H. C., Lanza, M. 2020. pdfce. B., Lima, F. V., & Chagas, M. H. (2020). Does the Muscle Action Duration Induce Different Regional Muscle Hypertrophy in Matched Resistance Training Protocols? *Journal of Strength & Conditioning Research*, 36(9), 2371–2380. doi: 10.1519/JSC.0000000000003883
- Drummond, M. D. M., Szmuchrowski, L. A., Goulart, K. N. O., & Couto, B. P. (2016). Effect of strength training on regional hypertrophy of the elbow flexor muscles. *Muscle and Nerve*, 54(4), 750–755. <https://doi.org/10.1002/mus.25088>
- Faulkner, J. A. (1966). Physiology of swimming. *Research Quarterly of the American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 37(1), 41–54. <https://doi.org/10.1080/10671188.1966.10614734>
- Franchi, M. V., Atherton, P. J., Reeves, N. D., Flück, M., Williams, J., Mitchell, W. K., Selby, A., Beltran Valls, R. M., & Narici, M. V. (2014). Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiologica*, 210(3), 642–654. <https://doi.org/10.1111/apha.12225>
- Franchi, M. V., Longo, S., Mallinson, J., Quinlan, J. I., Taylor, T., Greenhaff, P. L., & Narici, M. V. (2018a). Muscle thickness correlates to muscle cross-sectional area in the assessment of strength training-induced hypertrophy. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 28(3), 846–853. <https://doi.org/10.1111/sms.12961>
- Franchi, M. V., Raiteri, B. J., Longo, S., Sinha, S., Narici, M. V., & Csapo, R. (2018b). Muscle architecture assessment: strengths, shortcomings and new frontiers of in vivo imaging techniques. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 44(12), 2492–2504. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2018.07.010>

- <https://doi.org/10.3390/ijerph17165859>
- Palmer, T. B., Akehi, K., Thiele, R. M., Smith, D. B., & Thompson, B. J. (2015). Reliability of panoramic ultrasound imaging in simultaneously examining muscle size and quality of the hamstring muscles in young, healthy males and females. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 41(3), 675–684. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2014.10.011>
- Sartori, M., Yavuz, U., & Farina, D. (2017). In Vivo Neuromechanics: Decoding Causal Motor Neuron Behavior with Resulting Musculoskeletal Function. *Scientific Reports*, 7(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13766-6>
- Schoenfeld, B., Fisher, J., Grgic, J., Haun, C., Helms, E., Phillips, S., Steele, J., & Vigotsky, A. (2021). Resistance Training Recommendations to Maximize Muscle Hypertrophy in an Athletic Population: Position Stand of the IUSCA. *International Journal of Strength and Conditioning*, 1(1), 1–30. <https://doi.org/10.47206/ijsc.v1i1.81>
- Sedlmeier, A. M., Baumeister, S. E., Weber, A., Fischer, B., Thorand, B., Ittermann, T., Dörr, M., Felix, S. B., Völzke, H., Peters, A., & Leitzmann, M. F. (2021). Relation of body fat mass and fat-free mass to total mortality: Results from 7 prospective cohort studies. *American Journal of Clinical Nutrition*, 113(3), 639–646. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa339>
- Seynnes, O. R., de Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 102(1), 368–373. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00789.2006>
- Srikanthan, P., Horwich, T. B., & Tseng, C. H. (2016). Relation of Muscle Mass and Fat Mass to Cardiovascular Disease Mortality. *American Journal of Cardiology*, 117(8), 1355–1360. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2016.01.033>
- Srikanthan, P., & Karlamangla, A. S. (2014). Muscle mass index as a predictor of longevity in older adults. *American Journal of Medicine*, 127(6), 547–553. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2014.02.007>
- Storey, A., & Smith, H. K. (2012). Unique aspects of competitive weightlifting: Performance, training and physiology. *Sports Medicine*, 42(9), 769–790. <https://doi.org/10.2165/11633000-000000000-00000>
- Valamatos, M. J., Tavares, F., Santos, R. M., Veloso, A. P., & Mil-Homens, P. (2018). Influence of full range of motion vs. equalized partial range of motion training on muscle architecture and mechanical properties. *European Journal of Applied Physiology*, 118(9), 1969–1983. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3932-x>
- Wackerhage, H., Schoenfeld, B. J., Hamilton, D. L., Lehti, M., & Hulmi, J. J. (2019). Stimuli and sensors that initiate skeletal muscle hypertrophy following resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 126(1), 30–43. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00685.2018>
- Wakahara, T., Fukutani, A., Kawakami, Y., & Yanai, T. (2013). Nonuniform Muscle Hypertrophy: Its relation to muscle activation in training session. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(11), 2158–2165. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3182995349>
- Wannamethee, S. G., Shaper, A. G., Lennon, L., & Whincup, P. H. (2007). Decreased muscle mass and increased central adiposity are independently related to mortality in older men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 86(5), 1339–1346. <https://doi.org/10.1093/ajcn/86.5.1339>
- Wilk, M., Zajac, A., & Tufano, J. J. (2021). The Influence of Movement Tempo During Resistance Training on Muscular Strength and Hypertrophy Responses: A Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 51(8), 1629–1650. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01465-2>
- Wisdom, K. M., Delp, S. L., & Kuhl, E. (2015). Review. Use it or lose it: Multiscale skeletal muscle adaptation to mechanical stimuli. *Biomechanics and Modelling in Mechanobiology*, 14(2), 195–215. <https://doi.org/10.1016/j.gde.2016.03.011>
- Yasuda, T., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., & Abe, T. (2015). Effects of detraining after blood flow-restricted low-intensity concentric or eccentric training on muscle size and strength. *Journal of Physiological Sciences*, 65(1), 139–144. <https://doi.org/10.1007/s12576-014-0345-4>
- Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., & Santos-Concejero, J. (2020). Regional Hypertrophy, the Inhomogeneous Muscle Growth. *Strength & Conditioning Journal*, 42(5), 94–101. doi: 10.1519/SSC.0000000000000574
- Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., Torres-Unda, J., Garbisu-Hualde, A., & Santos-Concejero, J. (2021). The role of exercise selection in regional Muscle Hypertrophy: A randomized controlled trial. *Journal of*

Carta al editor

Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., Torres-Unda, J., Garbisu-Hualde, A., & Santos-Concejero, J. (2022). Response to: Letter to the editor concerning the article “The role of exercise selection in regional muscle hypertrophy: A randomized controlled trial” by Zabaleta-Korta et al. (2021). *Journal of Sports Sciences*, 40(10), 1158–1159. <https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2052596>

Indicador de calidad: ISI-JCR IF 3.943. 27/88. SPORT SCIENCES 2022 (Q2)



Response to: Letter to the editor concerning the article "The role of exercise selection in regional muscle hypertrophy: A randomized controlled trial" by Zabaleta-Korta et al. (2021)

Aitor Zabaleta-Korta, Eneko Fernández-Peña, Jon Torres-Unda, Arkaitz Garbisu-Hualde & Jordan Santos-Concejero

To cite this article: Aitor Zabaleta-Korta, Eneko Fernández-Peña, Jon Torres-Unda, Arkaitz Garbisu-Hualde & Jordan Santos-Concejero (2022): Response to: Letter to the editor concerning the article "The role of exercise selection in regional muscle hypertrophy: A randomized controlled trial" by Zabaleta-Korta et al. (2021), *Journal of Sports Sciences*, DOI: 10.1080/02640414.2022.2052596

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2052596>



Published online: 16 Mar 2022.



Submit your article to this journal [↗](#)






View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=rjsp20>

Response to: Letter to the editor concerning the article "The role of exercise selection in regional muscle hypertrophy: A randomized controlled trial" by Zabaleta-Korta et al. (2021)

Aitor Zabaleta-Korta , Eneko Fernández-Peña, Jon Torres-Unda , Arkaitz Garbisu-Hualde and Jordan Santos-Concejero 

Department of Physical Education and Sport, University of the Basque Country UPV/EHU, Vitoria-Gasteiz, Spain; Department of Physiology, Faculty of Medicine and Nursing, University of the Basque Country UPV/EHU, Vitoria-Gasteiz, Spain

ARTICLE HISTORY Accepted 8 March 2022

We appreciate the comments made by Mendonça Leitao et al. (2021), and wish to explain some key issues raised in their letter to the editor concerning the article "The role of exercise selection in regional Muscle Hypertrophy: A randomized controlled trial" 2021(1).

Firstly, Mendonça Leitao et al. (2021) suggested that Magnetic Resonance Imaging (MRI) or tomography should be used to assess muscle anatomical cross-sectional area (ACSA). We agree with the authors that MRI is the gold standard to measure ACSA, as it is the two-dimensional measurement that most accurately represents muscle growth (which can occur in three dimensions; Franchi et al., 2018). The authors also suggest using the extended field of view technique (EFOV; Franchi et al., 2018) or the stitching technique (Franchi et al., 2020) when using the B-mode Ultrasound.

When we initially designed the study, we had to decide to measure ACSA or muscle thickness measurements with our B-mode Ultrasound equipment. We considered that the stitching technique was not a reliable manner to measure muscle growth as it presents several methodological challenges. The main one was the lack of experience of the researcher that performed the ultrasound scans with this technique, adding to the difficulty of the technique itself and the fact it is very time-consuming. We also lacked the resources to perform the EFOV technique. But as muscle is three-dimensional (Franchi et al., 2018), we deemed it more appropriate to perform bi-dimensional measurements even if they do not represent the whole growth of a muscle, rather than performing one-dimensional measures (Mendonça Leitao et al., 2021).



We decided to measure ACSA, as we understood that if we were accurate enough to take the images in the same place both times (PRE and POST), the growth observed in the images would represent real growth. It is not as sensitive to growth as analysing the whole muscle head, but it is more sensitive than performing unidimensional measurements. Our method relies on the accuracy of the researcher who took the

ultrasound images when positioning the probe. If this positioning is equal both times, the growth observed in the field of view is an actual growth of the muscle.

Mendonça Leitao et al. (2021) also highlighted the need of a reliability index to ensure the results are not a consequence of methodological errors. To analyse the accuracy of the measurements, we first calculated the Intra-Class Coefficient (hence ICC) of the researcher doing the measurements with the data of the present study, following the method used by Ruas and colleagues (Palmer et al., 2015; Ruas et al., 2017). The ICC of the researcher was 0.956, which is considered very highly reliable (Munro, 2005). Afterwards, a pilot study was performed with 10 volunteers in which the ICC of this same researcher was calculated once again. We decided to perform this pilot study because we understand there can be mistakes after performing ICC calculations with data that is not actually acquired to do so. The ICC value was 0.98 this time. This data shows that our method to establish the position of the probe is reliable and consequently we believe that our data reflected real muscle growth. In any case, we acknowledge that a potential risk in our study was to not measure growth that happened out of the field of view of the Ultrasound machine.

Secondly, Mendonça Leitao et al. (2021) stated that we did not report the field of view of the ultrasound images. According to the manufacturer, this field of view is 37 mm long. As stated in the original article, we acknowledge that it does not allow for an observation of the *Rectus Femoris* in all its width, but we consider that being the probe positioning accurate enough, the growth measured in the ultrasound images would represent real growth of the muscle (in our case, we took ultrasound images at 25%, 50% and 75% of femur length using anatomical points as a reference).

As reported in the original paper, images were taken from the *Rectus Femoris* and *Vastus Lateralis* (Zabaleta-Korta et al., 2021). Data from the *Vastus Medialis* was not analysed as the

CONTACT Aitor Zabaleta-Korta  aitorzabaletakorta@gmail.com  Department of Physical Education and Sport, Faculty of Education and Sport, Lasarteke atea 71, 01007 Vitoria-Gasteiz, Basque Country, Spain

Physical activity, health and exercise

© 2022 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

images did not have enough quality to be analysed. Femur length was considered the distance between the *Trochanter Major* and lateral epicondyle of the knee. The distance from one point to the other was measured with a ruler and registered in an Excel spreadsheet. In total, 25%, 50% and 75% of this length was calculated automatically in the spreadsheet to avoid mistakes and to use it again in the POST measurements after the 5 weeks of training. These points were marked with a pen, and the researcher drew a straight line from that point (outer part of the thigh) to the inner part using a measuring tape for that purpose.

Each participant was supine with the patella and the foot pointing upwards, and the researcher drew a line from the antero-superior iliac spine to the most central part of the top of the patella. Ultrasound images were then taken by aligning the centre of the probe at the point at which both lines crossed. Even if we consider that by the use of bony landmarks (trochanter, epicondyle, iliac spine and patella) the probe positioning was very accurate, we agree with Mendoça Leitao et al. (2021) in the need of a validation paper.

Thirdly, Mendoça Leitao et al. (2021) highlighted that the original paper did not report the number of images taken per point, whether an average was calculated and how many fascicles were chosen to calculate the pennation angle. To clarify these concerns: we took three images per site and the average was used for further analysis. To calculate the pennation angle, only the angle of one fascicle per image was measured (taken from deep aponeuroses to the point at which the fascicle stopped being visible or the quality of the image did not allow to properly track the course of the fascicle). We faced several challenges when measuring the pennation angle, mostly related to the quality of the images. We acknowledge that the original paper does not report common values for this variable, as most measurements fell in the range of 12°–18° (Blazevich et al., 2006) but Figure 1 used in the original paper was selected for its clarity and image quality to show the readers how we measured the pennation angle. As we did with the data from the ACSA, we calculated ICC of the pennation angle measurements. This ICC was 0.7166, which although it is not as high as the ICC of the ACSA, it is considered highly reliable by other authors (Munro, 2005).

In conclusion, we understand that the chosen methodology is unusual and may have raised some questions about its reliability and accuracy. However, by providing the necessary details about the ultrasound image acquisition placement, we consider that there is no risk of overestimating muscle growth or scanning the wrong place. Rather, the real risk of the method is not representing the whole muscle growth. Therefore, we

believe that the growth reported in the original study represents real growth.

Disclosure statement


No potential conflict of interest was reported by the author(s).

Funding

The author(s) reported there is no funding associated with the work featured in this article.

ORCID

Aitor Zabaleta-Korta  <http://orcid.org/0000-0001-5455-7937>

Jon Torres-Unda  <http://orcid.org/0000-0003-2379-0546>

Jordan Santos-Concejero  <http://orcid.org/0000-0001-9467-525X>

References

- Blazevich, A. J., Gill, N. D., & Zhou, S. (2006). Intra- and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. *Journal of Anatomy*, 209(3), 289–310. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2006.00619.x>
- Franchi, M. V., Fitze, D. P., Hanimann, J., Sarto, F., & Spörri, J. (2020). Panoramic ultrasound vs. MRI for the assessment of hamstrings cross-sectional area and volume in a large athletic cohort. *Scientific Reports*, 10(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71123-6>
- Franchi, M. V., Raiteri, B. J., Longo, S., Sinha, S., Narici, M. V., & Csapo, R. (2018). Muscle architecture assessment: Strengths, shortcomings and new frontiers of in vivo imaging techniques. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 44(12), 2492–2504. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2018.07.010>
- Mendoça Leitao, B. F., Franchi, M. V., & Torres da Matta, T. (2021). Letter to the editor concerning the article "The role of exercise selection in regional muscle hypertrophy: A randomized controlled trial" by Zabaleta-Korta et al. (2021). *Journal of Sports Sciences*. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.646787>
- Munro, B. 2005. Statistical methods for health care research. In *Volume 1*, 5th ed. Lippincott Williams & Wilkins. 263.
- Palmer, T. B., Akehi, K., Thiele, R. M., Smith, D. B., & Thompson, B. J. (2015). Reliability of panoramic ultrasound imaging in simultaneously examining muscle size and quality of the hamstring muscles in young, healthy males and females. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 41(3), 675–684. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2014.10.011>
- Ruas, C. V., Pinto, R. S., Lima, C. D., Costa, P. B., & Brown, L. E. (2017). Test-retest reliability of muscle thickness, echo-intensity and cross sectional area of quadriceps and hamstrings muscle groups using B-mode ultrasound. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, 5(1), 35. <https://doi.org/10.7575/aiac.ijkss.v5n.1p.35>
- Zabaleta-Korta A, Fernández-Peña E, Torres-Unda J, Garbisu-Hualde A and Santos-Concejero J. (2021). The role of exercise selection in regional Muscle Hypertrophy: A randomized controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 39(20), 2298–2304. [10.1080/02640414.2021.1929736](https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1929736)

Comunicación en congreso internacional

Presentación de póster

The influence of resistance profiles on regional hypertrophy in women

XVII annual congress of the European college of sports science (Sevilla, Spain)

Desde el 30/08 hasta el 2/09



EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE

EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE

Aachener Str. 1053 -1055
50858 Cologne

GERMANY

VAT-ID: DE251715668 - St.Nr.: 223/5905/0216

register of associations: VR12508

Cologne, 22.09.2022 - 16:24:14

Confirmation of Presentation

This is to certify that the following title has been presented at the 27th Annual Congress of the European College of Sport Science between 30 August - 2 September 2022 in Sevilla - Spain.

Aitor Zabaleta-Korta

UPV/EHU

C/ El Prado 18, 4ºD
01005 Vitoria-Gasteiz, Spain

Abstr.-ID: 1111, Presentation format: Poster , Session name: CP-AP05 - Strength II

Title: Regional hypertrophy: the role of exercise resistance profile in trained women

Authors: Zabaleta-Korta, A., Fernández-Peña, E., Torres-Unda, J., Francés, M., Zubillaga, A., Santos-Concejero, J.

Institution: UPV/EHU

Presentation date: 01.09.2022, 17:45, Lecture room: AUDITORIUM 2, No: 6

European College of Sport Science

This document has been created digitally and is valid without a signature

Privacy Policy (<http://sport-science.org/index.php/privacy-policy>) - Terms & Conditions (<https://sport-science.org/index.php/local/goals-and-highlights?id=78>)

Copyright © 2022 European College of Sport Science, All Rights Reserved.
The ECSS is a non profit organisation, dedicated to Sport Science.

RESULTS: No systematic errors were found over sessions. Values of ICC(3,1) ranged from .90 to .98 for T1–T2 and from .88 to .99 for T2–T3. Corresponding CV-values ranged from 2.6 to 5.8% for T1–T2 and from 1.9 to 5.4% for T2–T3.

CONCLUSION: Overall good to excellent relative and acceptable absolute reliability was found for P-F-v profiling outcomes using the IsoMed 2000 isokinetic leg press. These results are in line with the findings of Lindberg et al. using a pneumatic Keiser leg press. The better reliability of the pneumatic leg press compared to vertical jump profiling outcomes was partly attributed to a shorter extrapolation distance to the axis intercepts.(1) However, the extrapolation distance to the x-axis was considerably longer in the present study. Consequently, we attribute our results mainly to the better standardization and the lower coordinative demands of the leg press movement compared to vertical jumps, which leads to more reproducible force and velocity input data for the individual P-F-v profiles.

References

1. Lindberg et al., PLOS ONE, 2021
2. Fessl et al., Int J Sports Physiol Perform, 2022
3. Hopkins, Sports Med, 2000

Contact

johannes.dirnberger@plus.ac.at

EFFECT OF BENCH PRESS EXECUTION VELOCITY, LOAD, AND LOAD DISTRIBUTION ON PERCEIVED EXERTION AND NUMBER OF REPETITIONS PERFORMED

MICHEL, L.1, SHOAEI, V.1, FRANCI, P.1, GROSSI, T.1, BENELLI, P.1, FEDERICI, A.1, LUCERTINI, F.1, ZOFFOLI, L.1,2, FERRI MARINI, C.1

1 DEPARTMENT OF BIOMOLECULAR SCIENCES – DIVISION OF EXERCISE AND HEALTH SCIENCES, UNIVERSITY OF URBINO CARLO BO, ITALY; 2 SCIENTIFIC RESEARCH & INNOVATION DEPARTMENT, TECHNOGYM S.P.A., ITALY

INTRODUCTION: Barbell bench press exercise adaptations depend on how several of its parameters are tailored. Exercise intensity, which plays a pivotal role in resistance exercise adaptation, is generally prescribed as the load to be lifted for a specific number of repetitions. Traditionally, load is expressed as a percentage of one repetition maximum (i.e., the greatest resistance that can be lifted in a controlled manner with good posture) (1). However, execution velocity also affects exercise intensity (2). Moreover, no studies assessed the effect of load distribution (i.e., the distance between the disc stacks at the two sides of the barbell) on exercise intensity. The present study aimed to evaluate how different combinations of load, execution velocity, and load distribution on the barbell affect the number of repetitions to failure (REPfailure), and rating of perceived exertion (RPEfatigue) and number of repetitions (REPfatigue) at fatigue onset.

METHODS: Eleven males (age 23.3±1.8 years) performed bench press exercises to failure following the National Strength and Conditioning Association guidelines (3). Three loads (80% [1-RM80], 65% [1-RM65], and 50% [1-RM50] of one repetition maximum), execution velocities (90% [V90], 70% [V70], and 50% [V50] of maximal concentric velocity), and two distributions (narrow and wide) were randomly combined. Participants' perceived exertion was also recorded during the repetitions eccentric phases (4). Three separate three-way repeated-measure ANOVAs ($\alpha=0.05$) were performed to assess the effect of load, velocity, and distribution on REPfailure, RPEfatigue, and REPfatigue normalized as a percentage of REPfailure.

RESULTS: REPfailure was affected by load ($p<0.001$), velocity ($p<0.001$), and distribution ($p=0.005$). The interactions between load and velocity ($p<0.001$) and load and distribution ($p=0.004$) showed a significant effect on REPfailure, whereas the interaction between velocity and distribution was not significant ($p=0.360$). More REPfailure were performed using lower loads (1-RM50=21.2±3.5; 1-RM65=12.1±1.8; 1-RM80=4.8±1.3), higher velocities (V90=14.2±8.0; V70=12.7±7.2; V50=11.0±5.9), and wider distribution (wide=13.2±7.5; narrow=12.2±6.8). RPEfatigue and REPfatigue were affected by load ($p<0.001$ and $p=0.007$, respectively) and velocity ($p<0.001$ and $p<0.001$, respectively), whereas they were not affected by distribution ($p=0.510$ and $p=0.571$, respectively) or the two-way interaction effects. Using higher loads yielded higher RPEfatigue but lower REPfatigue, while RPEfatigue and REPfatigue were higher when slower velocities were used.

CONCLUSION: The present study shows that, when prescribing resistance exercise intensity, not only exercise load but also execution velocity and load distribution should be considered.

1. American College of Sports Medicine, Med Sci Sports Exerc, 2009; 2. Sakamoto A, et al., J Strength Cond Res, 2006; 3. Earle RW, et al., NSCA's essentials of personal training, 2004; 4. Gearhart, RE, et al., J Strength Cond Res, 2001.

REGIONAL HYPERTROPHY: THE ROLE OF EXERCISE RESISTANCE PROFILE IN TRAINED WOMEN

ZABALETA-KORTA, A.

UPV/EHU

INTRODUCTION: Inhomogeneous muscle growth, also known as regional hypertrophy, is influenced by several factors including exercise selection, time under tension, time spent in each phase of an exercise and performing only concentric/eccentric exercises. The aim of the present study was to analyse the role of exercises resistance profile in regional hypertrophy

METHODS: 39 healthy women participated in this study. All participants completed a 9-week resistance training program consisting of either 4 sets of 12 repetitions of inclined bicep curls (INC group) or preacher curls (PREA group) three times per week performing each set to muscle failure. Pre- and post-intervention Muscle thickness was measured using B-mode ultrasound imaging with a linear-array transducer. Scan acquisition sites were determined by measuring the 50%, 60% and 70% of the distance between the posterior crest of acromion and the olecranon. The center of the bicep brachii muscle was calculated as a line between the coracoid process and the anterocubital crest

RESULTS: No region of the INC group grew when comparing pre- to post-intervention ($p = 0.95$, $ES = 0.019$; $p = 0.520$, $ES = -0.242$ and $p = 0.536$, $ES = -0.193$ in the 50%, 60% and 70% region respectively). However, the 70% region of the PREA-group grew significantly ($p = 0.017$, $ES = -0.623$). We found no growth differences between regions when analysing per group ($p = 0.274$, $ES = 0.014$), Region ($p = 0.571$, $ES = 0.013$) or when analysed per group * region ($p = 0.367$, $ES = 0.024$).

CONCLUSION: This study shows that regional hypertrophy is affected by the resistance profile of an exercise. This means that different regions of a muscle will grow in response to exercises that place the highest difficulty in specific points of the range of motion. In particular, our results show that the distal region of the arm grows in response to exercises that place the highest amount of strain in the part of the range of motion in which the arm muscles are more elongated.

Otras contribuciones

Coautoría de un libro

Libro: **Zabaleta-Korta, A., & Baz-Valle, E.** (2020). *Manual de Selección de ejercicios* (Audiofit (ed.); 3rd ed.)

Manual de selección de ejercicios:
HIPERTROFIA

» AITOR ZABALETA & ENEKO BAZ •



Autoría de un libro

Zabaleta-Korta, A. (2022). *Progresas con pesas* (E. Transverso (ed.); 1st ed.).

Aitor Zabaleta-Korta

PROGRESA CON PESAS

Guía para hacer tu entrenamiento



EDITORIAL
TRANSVERSO

EDITORIAL
TRANSVERSO

Revisor de un artículo

para la revista *Journal Of Strength and Conditioning Research*



Journal of Strength and Conditioning Research <em@editorialmanager.com>
para mí

dom, 6 nov 2022, 13:10 ☆ ↶ ⋮

🌐 inglés > español Traducir mensaje

Desactivar para: inglés x

Nov 06, 2022

RE: JSCR-08-19044, entitled [REDACTED] (revised by resister)

Dear Mr. Zabaleta-Korta,

On behalf of the JSCR, I would like to request your assistance in helping review this manuscript which has been submitted to the journal. We are so well aware of the multitude of requests for your review assistance you must get but in order to maintain the excellence of the journal I am taking a chance that you may be able to help us. I very much value your own research and this is one of the reasons we have requested your assistance in this process. Thank you for your consideration to help us out with this paper and all of the Editorial staff at the JSCR wish you well and thank you for your consideration.

Please find the manuscript abstract listed below.

Click here to ACCEPT to review this paper:

<https://www.editorialmanager.com/jscr/l.asp?i=715804&i=TPBLFA6N>, you will be given 21 days to complete the assignment.

If for any reason you are unable to review, please let us know immediately by clicking the link below to DECLINE the invitation to review this paper:

<https://www.editorialmanager.com/jscr/l.asp?i=715805&i=ERTSN7PG>

PLEASE NOTE: If clicking the link above does not open an Editorial Manager window, please open a browser window manually and copy and paste the entire link into the URL address box.

<https://www.editorialmanager.com/jscr/>

Your username is: altorzabaletakorta@gmail.com

<https://www.editorialmanager.com/jscr/l.asp?i=715806&i=ZRZNR1P>

Thank you for your time and efforts,

Brad Jon Schoenfeld, PhD
Senior Editor

Divulgación

Sobre el tema del doctorado en contextos educativos

Exposición oral 1

Universidad Camilo José Cela (10/10/2019): *Hipertrofia regional del músculo esquelético*

La Facultad de Educación y Salud de la Universidad Camilo José Cela de Madrid, hace constar que **D. Aitor Zabaleta Korta** con DNI 72535588M ha participado realizado la ponencia **“Hipertrofia regional: ¿Podemos hacer que un músculo crezca más por un lado que por otro?”** con una duración de 1,5 horas, celebrado en el campus de Villafranca del Castillo el día 10 de octubre de 2019.

Y para que así conste y a los efectos oportunos, se expide y firma el presente documento en Madrid, a 11 de octubre de 2019.



D. Eduardo José Corral Pugnare
Adjunto al Secretario Académico
Facultad de Educación y Salud
Universidad Camilo José Cela

Exposición oral 2

Universidad Atlántico Santander (22/03/2022): *Nuevas tendencias en Wellness y Fitness*

ROBERTO D. RUIZ SALCES, SECRETARIO GENERAL de la UNIVERSIDAD EUROPEA DEL ATLÁNTICO,

CERTIFICA que:

D. AITOR ZABALETA KORTA, con DNI 72535588-M,

ha participado como Docente en la sesión de clase de la asignatura

“Nuevas tendencias en Fitness y Wellness”

e impartida a los alumnos de 3º curso
del Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte,

y celebrado en este campus universitario el 22 de marzo de 2022,
de dos (02) horas de duración.

Y para que así constes expido la presente certificación en Santander, a veintiocho de marzo de dos mil veintidós.



SECRETARÍA GENERAL



Parque Científico y Tecnológico de Cantabria
C/ Isabel Torres 21 · 39011 Santander · España
Teléfono + 34 942 244 244 · E-mail: info@uneatlantico.es
www.uneatlantico.es

Exposición oral 3

Universidad de Vigo (05/04/2022): *Hipertrofia regional del músculo esquelético*

Programa de actividades:

- Título: *“As saídas laborais nos grados de CCAFD, Ed. Primaria e Ed. Infantil”*
- Lugar: Valorarase a posibilidade de desenvolver o evento presencialmente (Salón de Graos e Aula 6 da FCCED no caso de ser necesaria), online, ou en modalidade mixta, en función das medidas sanitarias establecidas a causa da COVID-19 no momento da celebración. Aínda en caso de ser mixta, procurarase que os relatores e relatores poidan desprazarse á Facultade de Ciencias da Educación e do Deporte, para por á súa disposición o materia de transmisión virtual.
- * Co permiso dos e das relatoras das charlas, estas serán tamén gravadas, transmitidas online en directo e gardadas para poder ver posteriormente.
- Data: 5 e 6 de abril de 2022.
- Horarios e temáticas: *(Horarios e títulos provisionais)*.

DÍA 1 (5/abril/2022):

8:30-9:00h: Inauguración da Xornada Formativa, co Consello Social, Equipo Decanal e Delegación de Estudiantes.

9:00- 9:45h: (Salón de Graos) *“Claves para afrontar o TFG con éxito”* (Isabel Noya).

9:45-10:45h: (Salón de Graos) *“Suplementos no deporte: ¿Qué di a evidencia científica?”* (Alejandra Piñeiro, nutricionista e creadora de “Fitténtalo”) *Salidas profesionais en CCAFD e a súa aplicación co Prácticum* (Matías Zelarayán).

10:45-11:45h (Salón de Graos): *Salidas profesionais en CCAFD e a súa aplicación co Prácticum* (Matías Zelarayán).

12:00-13:00 (Salón de Graos): *“Adestramento: hipertrofia rexional do músculo”* (Aitor Zabaleta-Korta, estudante de doutorado da Universidade do País Vasco e creador de “Fuerzaadiario”)

13:00-14:00 (Salón de grados): *“Enfoque do bloque de contidos de Actividade Física e Saúde e Gamificación”* (Pedro Vicente Vila + Estudante TFG + Estudante TFM).

14:00-15:00h: *“Educación emocional”* (Laura Redondo)

16:00 - 17:00 (Salón de Graos): *“Deporte e discapacidade: Visión dun estudante en prácticas da FEDDF”* (Rodrigo Yagüe)

Informe aprobado del comité de ética de la UPV/EHU

Comité: CEISH-UPV/EHU, BOPV 32, 17/2/2014

Acta: 118/2019

**GIZAKIEKIN ETA HAUEN LAGIN ETA DATUEKIN
EGINDAKO IKERKETEI BURUZKO ETIKA
BATZORDEAREN (GIEB-UPV/EHU) TXOSTENA**

M^a Jesús Marcos Muñoz andreak, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU) GIEBeko idazkari gisa,

ZIURTATZEN DU

Ezen gizakiekin egindako ikerkuntzaren etika batzorde honek, GIEB-UPV/EHU, (2014/2/17ko 32. EHAA)

Balioetsi duela ondoko ikertzailearen proposamen hau:

Jordan Santos Concejero andreak, M10_2019_262, honako ikerketa proiektu hau egiteko:

"Influencia de los diferentes ejercicios sobre las adaptaciones no homogéneas del músculo cuádriceps femoral"

Eta aintzat hartuta ezen

1. Ikerketa justifikatuta dago, bere helburuei esker jakintza areagotu eta gizarteari onura ekarriko baitio, ikerlanak lekartzakeen eragozpen eta arriskuak arazoizko izanik.
2. Ikertzaile taldearen gaitasuna eta erabilgarri dituzten baliabideak aproposak dira proiektua gauzatzeko.
3. Ikerketaren planteamendua bat dator era honetako ikerkuntza egin ahal izateko baldintza metodologiko eta etikoekin, ikerkuntza zientifikoaren praktika egokien irizpideei jarraiki.
4. Indarreko arauak betetzen ditu, ikerketa egin ahal izateko baimenak, akordioak edo hitzarmenak barne.

Aldeko Txostena eman du 2019ko azaroaren 21ean egin duen bileran (118/2019akta) aipaturako ikerketa proiektua ondoko ikertzaileek osatutako taldeak egin dezan:

Jordan Santos Concejero
Aitor Zabaleta Korta
Eneko Fernández Peña

MARIA
JESUS
MARCOS
MUÑOZ

GIEB-UPV/EHUko idazkari teknikoa
Secretaria Técnica del CEISH-UPV/EHU

Eta halaxe sinatu du Leioan, 2019ko abenduaren 10ean

**INFORME DEL COMITÉ DE ÉTICA PARA LAS
INVESTIGACIONES CON SERES HUMANOS, SUS
MUESTRAS Y SUS DATOS (CEISH-UPV/EHU)**

M^a Jesús Marcos Muñoz como Secretaria del CEISH de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

CERTIFICA

Que este Comité de Ética para la Investigación con Seres Humanos, CEISH-UPV/EHU, BOPV 32, 17/2/2014,

Ha evaluado la propuesta del investigador:

D. Jordan Santos Concejero, M10_2019_262, para la realización del proyecto de investigación: "*Influencia de los diferentes ejercicios sobre las adaptaciones no homogéneas del músculo cuádriceps femoral*"

Y considerando que,

1. La investigación está justificada porque sus objetivos permitirán generar un aumento del conocimiento y un beneficio para la sociedad que hace asumibles las molestias y riesgos previsibles.
2. La capacidad del equipo investigador y los recursos disponibles son los adecuados para realizarla.
3. Se plantea según los requisitos metodológicos y éticos necesarios para su ejecución, según los criterios de buenas prácticas de la investigación científica.
4. Se cumple la normativa vigente, incluidas las autorizaciones, acuerdos o convenios necesarios para llevarla a cabo.

Ha emitido en la reunión celebrada el 21 de noviembre de 2019 (acta 118/2019), **INFORME FAVORABLE** a que dicho proyecto de investigación sea realizado, por el equipo investigador:

Jordan Santos Concejero
Aitor Zabaleta Korta
Eneko Fernández Peña

Leioa, a 10 de diciembre de 2019

