



Universidad de Concepción del Uruguay

Centro Regional Rosario

Tesina

TEMA:

Revisión de métodos de valoración de la hipertrofia muscular en la composición corporal de sujetos entrenados.

Licenciatura en Educación Física con Orientación en Ciencias del Ejercicio

Autor: Prof. Suarez, Víctor Daniel

DNI: 35.571.274

Tutor de tesina: Msc. Baglietto, Nicolás

Año: 2021

Índice de contenidos

1. Introducción.....	3
1.1. Problema.....	4
1.2. Objetivos.....	4
2. Método.....	4
2.1. Procedimiento de la selección de artículos.....	5
2.2. Hipótesis.....	6
3. Marco teórico	6
3.1. ¿Qué es y cómo se define la hipertrofia según distintos autores?	6
3.2. Arquitectura del músculo esquelético.	8
3.3. Mecanismos y vías de señalización para generar hipertrofia muscular. ..	9
3.4. Importancia del músculo esquelético en la salud y el deporte.....	12
3.5. Importancia de la masa muscular en el deporte.	14
3.6. Importancia de la estructura ósea en el deporte.	14
3.7. Índice músculo óseo.	17
3.8. Evaluación crítica de la construcción del músculo esquelético.	19
3.9. Consenso de definición de hipertrofia.	21
3.10. Métodos actuales utilizados para evaluar hipertrofia.	22
3.11. Propuestas para futuras investigaciones en la temática.	32
4. Conclusión.....	33
5. Bibliografía.....	35

1. INTRODUCCION.

La búsqueda por conseguir un desarrollo muscular del cuerpo data de muchos años atrás en la historia. Los orígenes del entrenamiento de la fuerza y el culturismo se encuentran en la antigua Grecia y en Roma. Estas civilizaciones utilizaban la actividad física como un medio para conseguir, entre otras cosas, un equilibrio entre el cuerpo y la mente. Las esculturas de éstas antiguas sociedades muestran su concepción sobre el cuerpo perfecto: musculatura grande, fuerte y bien definida con una proporción y equilibrios exactos (Bompa T. , 2010). Los nativos de la India interesados por ésta temática, ya por el siglo XI, fabricaban sus propios elementos tallados en piedra, similares a lo que hoy conocemos como “mancuernas”, con el objetivo de incrementar su volumen muscular. El auge y popularización de los gimnasios tuvo lugar en el S. XVI a tal punto de que el levantamiento de pesas se había convertido en el pasatiempo nacional de la India. Sin embargo, la difusión y masividad de éste pasatiempo se dió a nivel mundial cuando el prusiano Eugen Sandow recorrió teatros exhibiendo y ostentando su cuerpo musculado. Tal fue la repercusión de las exhibiciones de Sandow, (considerado el padre del bodybuilding moderno), que hoy en día millones de personas en el mundo entrenan con el objetivo de incrementar su masa muscular con fines estéticos, con intenciones de mejorar su rendimiento deportivo, o mejorar su estado de salud. Durante muchos años el entrenamiento y la nutrición se limitaban a anécdotas personales de entrenadores o tradiciones de los gimnasios, la evidencia científica era escasa y la mayoría de las conclusiones que se hacían tenían su origen en una base de datos muy pobre (Schoenfeld B. J., 2016).

Tradicionalmente al crecimiento de la masa muscular, inducido por el entrenamiento de fuerza, se lo llamó hipertrofia del músculo esquelético; dicho incremento en éste tejido se manifiesta como aumentos en el grosor muscular, o aumentos en el área transversal de la fibra muscular. Varios años de investigación en el área de la fisiología del ejercicio llevaron a una aproximación acerca de cómo se produce la hipertrofia del músculo esquelético sometido al entrenamiento de la fuerza. Ahondando más en los detalles del concepto, en la literatura científica siempre se promulgó que los aumentos en el área transversal de la fibra muscular iban acompañados de incrementos en la proteína miofibrilar (dicho en otros términos, la concentración de proteínas a nivel de las miofibrillas), lo que derivaba en una expansión en el número de sarcómeros en paralelo (lugar específico donde se produce la contracción), y, un aumento en el número de miofibrillas (las proteínas encargadas de realizar dicha contracción). Curiosamente existen diversos estudios y sobrada evidencia de que la concentración de la proteína miofibrilar puede “diluirse” a través de la expansión sarcoplásmica, (es decir la zona “no” contráctil de la fibra muscular), a medida que ocurren aumentos en el área de sección transversal de la fibra muscular (Haun C. T., 2019). La hipertrofia asociada al entrenamiento de fuerza depende de muchas variables como pueden ser: la experiencia de entrenamiento, la genética, o generar un excedente de energía en el individuo (Slater, 2019). Esta última variable es considerada una de las más importantes a tal punto de generar controversias en los nutricionistas deportivos ligados a la investigación y producción de conocimiento científico. Ya que se desconoce el excedente de energía específico necesario para facilitar la hipertrofia muscular. Sin embargo, existe una clara evidencia de un estímulo anabólico posible a partir de un excedente de energía, incluso independientemente del entrenamiento de fuerza (Slater, 2019). Los últimos consensos

sugieren a los profesionales que comiencen de forma conservadora con un excedente de energía dentro del rango de $\sim 1500-2000 \text{ kJ} \cdot \text{día}^{-1}$ y monitorear de cerca la respuesta a la intervención, utilizando cambios en la composición corporal (Moore, 2015); (Dunford, 2018). Con el objetivo de cumplir con el enfoque principal de ésta revisión, las variables mencionadas anteriormente no serán abordadas en profundidad. Pero se plantean para dar un mayor entendimiento al contexto del proceso de hipertrofia muscular. Cabe recalcar también que muchas investigaciones señalan que las variables que utilizan los métodos para medir los cambios antes y después de un entrenamiento de fuerza están mal asociadas entre sí y no presentan fiabilidad en las mediciones (Haun C. T., 2019). Durante el desarrollo de ésta revisión se abordarán de manera crítica los 3 niveles de validación para medir el proceso de hipertrofia, haciendo referencia al nivel macroscópico (dexa es el más utilizado en las investigaciones), mediciones a nivel microscópico (en el que destaca la biopsia muscular) y, por último, un análisis del método a nivel molecular, en el cual se analiza la concentración de proteínas a nivel de fibra muscular (Haun C. T., 2019).

1.1 Problema.

.Es muy difícil comprobar cómo se genera el proceso de hipertrofia muscular ya que las metodologías utilizadas para medirlo varían en el nivel de exactitud.

1.2 Objetivos.

Objetivo general: realizar una revisión de la bibliografía sobre los métodos de valoración de la hipertrofia muscular en poblaciones recreativas y entrenadas.

Objetivo específico: hacer énfasis en la fiabilidad de los métodos para medir la hipertrofia en poblaciones recreativas y entrenadas.

2. METODO.

El siguiente trabajo se desarrolla adoptando un diseño de investigación con un enfoque cualitativo no experimental. De tipo transeccional descriptivo, la investigación busca describir variables y características de la población. Se recolectan datos en un sólo momento y se analiza la incidencia e interrelación de las variables.

La búsqueda de la literatura para realizar la siguiente revisión bibliográfica se realizó desde los primeros archivos encontrados en la literatura científica. Aproximadamente 1200 a.c-146 a.c en la antigua Grecia, hasta el año 2020 donde se encontraron los últimos registros de investigaciones relacionadas al tema. Se abordó la propuesta del autor Dankhe, en la cual plantea los 3 tipos básicos de fuente de información (Dankhe, Vera carrasco, 1986). Apelando directamente a las fuentes primarias y complementando con fuentes de información secundaria.

También se utilizaron los siguientes motores de búsqueda: PubMed y Google Académico. La biblioteca virtual de sciELO y el sevier.

Los descriptores en español que se utilizaron en las fuentes fueron:

- . Hipertrofia del músculo esquelético.
- . Hipertrofia de la masa muscular.
- . Aumentos del área de sección transversal del músculo esquelético.
- . Medición de la hipertrofia del músculo esquelético.
- . Métodos de valoración del músculo esquelético.
- . Hipertrofia en jóvenes entrenados.
- . Hipertrofia en jóvenes físicamente activos.

Los descriptores en inglés que se utilizaron en las fuentes fueron:

- . Skeletal muscle hypertrophy.
- . Hypertrophy of muscle mass.
- . Skeletal muscle cross-sectional area increases.
- . Measurement of skeletal muscle hypertrophy.
- . Skeletal muscle assessment methods.
- . Hypertrophy in trained athletes.
- . Hypertrophy in physically active youth.

Criterios de exclusión:

Los artículos que se revisaron debían contener previamente los descriptores en español como sus variantes en inglés, luego se analizaba el resumen, material y métodos, y las conclusiones del mismo; si cumplía con los requerimientos de la búsqueda se archivaban para su posterior análisis en profundidad y construcción del marco teórico. También se utilizó el recurso de las palabras clave para optimizar el tiempo en la búsqueda de la literatura.

2. 1. Procedimiento de la selección de artículos:

Fase 1:

Se consultó las fuentes de información primaria, también se consultó a especialistas en el tema orientando la detección de la literatura y las fuentes secundarias de información. Posteriormente se realizó una búsqueda exhaustiva en la literatura basándose principalmente en los motores de búsqueda “Google Académico” y “PubMed” que fueron los que más datos aportaban al tener en cuenta los descriptores en español así como también sus símil en inglés.

Fase 2:

Con la literatura obtenida se realizó un análisis y se seleccionó los resúmenes que cumplieran con los siguientes criterios:

- . Que los métodos utilizados valoren la hipertrofia del músculo esquelético.
- . Que las investigaciones se hayan realizado en poblaciones entrenadas y físicamente activos.
- . Que las investigaciones aborden las correlaciones de y entre los métodos.

Fase 3:

Una vez cumplidos los criterios de las fases mencionadas, se analizó en profundidad la literatura y se sintetizó los artículos más relevantes construyendo el marco teórico base de la revisión.

2.2 Hipótesis.

1. No existe actualmente un método que sea considerado “Gold estándar” o referencia para medir el proceso de hipertrofia del músculo esquelético.
2. Falta estandarizar un protocolo a la hora de valorar la hipertrofia del músculo esquelético, ya que las mediciones son inconsistentes y no garantizan reproductibilidad.
3. Existe muy poca evidencia en la literatura de trabajos realizados con poblaciones entrenadas.

3. MARCO TEORICO.**3.1 ¿Qué es y cómo se define la hipertrofia según distintos autores?**

Desde su significado y origen, la palabra hipertrofia es el resultado de la unión de dos términos, desde el inglés la palabra “híper” refiere a “más allá” o “arriba”, y desde el idioma griego “trophia” denota “crecimiento” o “nutrición” (Haun C. T., 2019).

Históricamente se ha postulado que la hipertrofia muscular ocurre en respuesta a la acumulación de proteínas contráctiles o estructurales debido a un aumento en el número de sarcómeros en paralelo en las miofibrillas preexistentes de las fibras musculares, lo que da como resultado un aumento en el área de la sección transversal de las fibras (Russell, Journal of Applied Physiology, 2000).

Por su parte desde el contexto del entrenamiento de la fuerza, la hipertrofia generalmente se la definió como un aumento en la masa muscular y el área transversal en todo el tejido y niveles celulares (Russell, *Journal of Applied Physiology*, 2000) . En 2010, Brad Schoenfeld (Schoenfeld, *The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training*, 2010), definió la hipertrofia del músculo esquelético como una expansión de los elementos contráctiles y la matriz extracelular de las células del músculo esquelético, señalando que la adición de sarcómeros en paralelo (sarcómerogénesis) y la adición de las miofibrillas (miofibrillogénesis) son en gran parte responsables de los aumentos en el tamaño de las células (Rosenthal, 2002); (Larson, 1982). Aunque ésta hipótesis es lógica, ninguna investigación proporcionó claramente recuentos de miofibrillas o sarcómeros, lo que justifica la reconsideración del modo específico de hipertrofia inducida por el entrenamiento de fuerza a corto plazo en fibras humanas. Lloyd, proporcionó la elegante y simple definición de crecimiento celular como acumulación de masa muscular (Lloyd, *The regulation of cell size*, 2013).

Damas y colaboradores, recientemente definieron “la hipertrofia verdadera como una acumulación de proteínas musculares contráctiles y estructurales que agregan sarcómeros en paralelo a las fibras musculares” (Damas, *The development ...muscle protein synthesis*, 2018 p. 987).

Sin embargo, la literatura científica da cuenta de que las investigaciones realizadas hasta el momento no permiten demostrar que el proceso de hipertrofia se produzca por las definiciones mencionadas anteriormente, lo que lleva a replantearse que se entiende realmente cuando se habla de hipertrofia.

Ya en el año 1967, el Dr. Edward E. Gordon planteaba lo siguiente: “Primero, ¿qué se entiende por hipertrofia: aumento de la circunferencia de una extremidad, volumen de un músculo o el peso relacionado? ¿O nos referimos a la fibra muscular individual, la unidad anatómica más pequeña del músculo? En hipertrofia, se considera que las dimensiones macroscópica y microscópica corren cursos paralelos y, por lo tanto, son intercambiables. No habría ningún error grave si en la hipertrofia la suma de las partes agrandadas fuera igual a un todo aumentado. Pero tal ecuación no siempre se encuentra” (Gordon, *Anatomical and biochemical adaptations of muscle to different exercises*, 1967 p. 129).

Gordon continuó notando éstas discrepancias en su propia investigación y en el trabajo de algunos de sus contemporáneos, afirmando que parece haber “una disociación completa entre el tamaño de la fibra y el músculo completo en animales entrenados” (Gordon, *Adaptations of muscle to various exercises*, 1967 p. 130). Por lo planteado anteriormente, otro de los propósitos en el desarrollo de la revisión, también será plantear una mirada crítica al abordar el término de hipertrofia, para tratar de dilucidar a que se refiere la literatura y las investigaciones cuando se refieren al término.

3.2 Arquitectura del músculo esquelético.

Para su estudio y una mejor comprensión del mismo, el tejido del músculo esquelético se puede organizar en los siguientes niveles:

- a. Todo el músculo esquelético recubierto por una fascia denominada epimisio, que está compuesta principalmente por proteína de colágeno, y es aproximadamente 75% de líquido por volumen (Kjaer, Role of extracellular matrix... mechanical loading, 2004).
- b. Otra superficie que aglomera los grupos (también llamados haces) de fibras musculares denominada perimisio.
- c. Recubriendo la fibra muscular otra capa de tejido conectivo denominada endomisio.
- d. Dentro de la fibra muscular encontramos proteínas denominadas miofibrillas.
- e. Ahondando aún más en la estructura de las miofibrillas encontramos sarcómeros, que son las unidades funcionales del músculo y lugar donde acontece el proceso de contracción muscular.
- f. En el último nivel de organización, dentro de los sarcómeros se encuentran proteínas como por ejemplo actina, titina y miosina.

El músculo esquelético se puede separar en componentes intracelulares, es decir por debajo de la membrana de la fibra muscular, y en componentes extracelulares, es decir por fuera de la membrana de la fibra muscular. El componente extracelular se compone principalmente de vasculatura y tejido conjuntivo que generalmente ocupa entre el 1% y el 20% del músculo esquelético humano, que además separa el músculo en grupos de fibras y, a su vez, en fibras musculares individuales (Kjaer, Role of extracellular matrix... loading., 2004). El componente de tejido conectivo también es adaptable y puede variar en su contribución al tamaño y fuerza del músculo esquelético. Las fibras musculares consisten principalmente en miofibrillas, mitocondrias y una estructura especializada conocida como retículo sarcoplásmico. Estos son los 3 componentes principales de las fibras musculares (Lindstedt, 1998), aunque el glucógeno también constituye 2-3% y los triglicéridos intramusculares 5% en promedio (Loon, 2003); (Gallagher, 2005).

Una vez descrita la estructura del músculo esquelético resulta oportuno revisar que es lo que la evidencia científica aporta al respecto y cuáles fueron las investigaciones que tienen más relevancia en cuanto a la morfología y composición de la fibra muscular; teniendo en claro éste criterio se puede dilucidar a que se debe el proceso de hipertrofia, o, en otras palabras que es lo que realmente cambia dentro de la estructura del músculo esquelético.

El proteoma, (que es la totalidad de proteínas expresadas en una célula), del músculo esquelético humano fue recientemente reevaluado por González-Freire, que empleó técnicas sensibles basadas en espectrometría de masas (Gonzalez-Freire, 2017) . Según su análisis la mayoría de las proteínas que se encuentran dentro del músculo esquelético cumplen funciones metabólicas, expresándolas en porcentajes: alrededor del 40% del número total de proteínas en el músculo esquelético son enzimas, menos del 10% son proteínas que cumplen funciones contráctiles y, el 20% de las proteínas se caracterizan como mitocondriales que desempeñan funciones en el metabolismo oxidativo. Si bien estos argumentos contradicen la suposición de que la mayoría de las proteínas del músculo esquelético cumplen una función contráctil, son datos relativos al **número** total

de proteínas y no a la **concentración** de las mismas, que es lo que se analiza en la mayoría de las investigaciones y puede ser éste el determinante del proceso de hipertrofia muscular. Tradicionalmente, se ha caracterizado como proteínas miofibrilares entre el 60% y 70% del conjunto de proteínas mixtas del músculo esquelético humano, entre el 20% y el 30% como sarcoplásmico y entre el 5% y el 10% como mitocondriales (Haus, Contractile and connective tissue protein content of human skeletal muscle: effects of 35 and 90 days of simulated microgravity and exercise countermeasures., 2007).

Otras investigaciones estiman que la miosina constituye el 50% de las proteínas y la actina aproximadamente el 20% de la concentración de proteínas miofibrilares (Greaser, 1983); (Ingalls, 1998).

Datos obtenidos como en los trabajos de Wang (Wang, Purification of titin and nebulin., 1982) y Yates y Greaser (Greaser, 1983), sugieren que la titina representa aproximadamente alrededor del 10% de la proteína miofibrilar, mientras que la troponina, nebulina y la tropomiosina alrededor del 5% cada una.

3.3 Mecanismos y vías de señalización para generar hipertrofia muscular.

Dentro del complejo proceso de hipertrofia muscular inducida por el ejercicio, se destacan vías, mecanismos o variables que son los responsables del crecimiento de la célula muscular, el incremento de la proteína muscular después del ejercicio y la maximización de la hipertrofia del músculo esquelético; por lo tanto, tener un conocimiento detallado de los mismos permite entender la interconexión que entre ellos se generan ya que son sus interacciones las que median en el crecimiento del tejido magro.

Tensión mecánica: es la variable más importante ya que por sí sola va a ser capaz de generar una disrupción de la homeostasis muscular, lo que va a producir una serie de cascadas de respuestas moleculares y celulares en la miofibrillas y también en las células satélite; el proceso que va a regular esta serie de cascadas es la mecanotransducción. Dentro de este complejo proceso se encuentran estructuras específicas como los mecanosensores, unidos en el sarcolema (membrana que envuelve a la fibra musculoesquelética), especialmente con las integrinas (mecanosensor primario) que son las que van a estimular estas vías anabólicas e intracelulares y van a convertir la energía mecánica en señales químicas que van a promover la síntesis de proteínas en lugar de la degradación. Durante la tensión mecánica el proceso va a estar regulado por la vía AKT-MTOR de manera directa, o, a través de la producción de ácido fosfatídico. La respuesta muscular para activar este mecanismo va a ser muy dependiente de la carga que estemos utilizando, o sea la intensidad, y del tiempo bajo tensión (Zou, 2011).

Una vez que se transducen las fuerzas, las cascadas enzimáticas intracelulares son las que van a activar ciertas vías que van a tener un papel menor, y otras que van a facilitar la traducción del ARNm, especialmente, el crecimiento de las miofibras.

Vías de señalización:

1. P13K / AKT: se la considera una red maestra para regular el crecimiento del músculo esquelético y dentro de ella se han identificado diferentes isoformas y cada isoforma va a tener una función fisiológica distinta, el medio principal por el cual funciona esta vía, es a través de la señalización de Mtor (complejo I), uno de los objetivos que tiene Mtor es la activación de la enzima ribosómica P70S6K que es la que va a jugar un papel muy importante en el inicio de la traducción del ARNm; también es importante porque ésta vía de señalización regula el crecimiento muscular independientemente de Mtor ya que inhibe procesos catabólicos que son los que se conocen como las proteínas FOXO, entonces al reducir la aparición o activación de ese tipo de proteínas se suma un proceso más para el crecimiento muscular. Mtor también funciona como un sensor de energía y nutrientes, entonces cuando hay unos niveles elevados de energía se promueve su activación y cuando hay una reducción de los niveles de energía y disponibilidad de nutrientes va a tender a inhibirse (Schoenfeld, Science...of muscle hypertrophy, 2020).
2. MAPK: es un regulador primario de la expresión génica, va a vincular el stress celular con una respuesta adaptativa en miofibras, modula el crecimiento y su diferenciación. Esta respuesta adaptativa se va a producir en sinergia con el Mtor (complejo I). Hay tres módulos de señalización dentro de MAPK: ERK 1 / 2, p38, MAPK, JNK. De los módulos señalados anteriormente el JNK parece ser el más sensible a la tensión mecánica y en particular a las acciones excéntricas (Schoenfeld, 2020).
3. VIA CALCIO DEPENDIENTE: los aumentos de los niveles de calcio intracelular amplía la síntesis de proteínas mediante la señalización de Mtor CI (Mtor complejo I), se cree que la calcineurina que es una fosfatasa regulada por el calcio tiene un papel muy importante en las adaptaciones musculares, aunque falta mucha evidencia para considerarla como determinante en el crecimiento muscular (Schoenfeld, 2020).
4. AMPK: va a funcionar como un sensor de energía celular y su activación es estimulada por un aumento de la relación AMP/ATP; una vez activa AMPK va a suprimir los procesos anabólicos y estimular todos los procesos catabólicos, incluida la descomposición de proteínas. Por lo tanto, su inhibición se va a asociar a un crecimiento acelerado de sobrecarga mecánica, mientras que, su activación va a inducir procesos que atenúen la hipertrofia (Schoenfeld, 2020).

ESTRÉS METABOLICO: se define como la acumulación de metabolitos o sustancias que provienen del resultado de la contracción muscular en respuesta al ejercicio. Algunos de estos metabolitos son el fósforo inorgánico (PI), el ion de hidrógeno (H⁺), y las especies reactivas de oxígeno (ROS) y del nitrógeno (NOS). El estrés metabólico se maximiza durante el ejercicio que depende en gran medida de la glucólisis para la producción de energía, duración del ejercicio entre 15 y 120 segundos, y esa acumulación correspondiente de metabolitos causa fatiga inducida periféricamente (en lugar de centralmente). Esta fatiga lograría reclutar todas las unidades motoras. Dentro del estrés metabólico también hay diferentes mecanismos que facilitarían las ganancias de masa muscular, dichos mecanismos se dan en simultáneo y, depende de la situación se da el predominio de alguno u otro (Schoenfeld,2020).

1. RECLUTAMIENTO DE UNIDADES MOTORAS: los mecanismos por el cual se produce no son del todo claros; la acumulación de iones H podría inhibir la contractilidad de las fibras musculares obligando a reclutar las de mayor umbral como las fibras tipos IIA o IIX que especialmente son las que más se hipertrofian. A medida que se van sumando más repeticiones en el set se va maximizando la respuesta hipertrófica. Cabe aclarar que el reclutamiento por sí solo no garantiza el crecimiento muscular, sino que la manera como se estimulan las fibras musculares es clave para ver que respuestas adaptativas se están generando (Schoenfeld, 2020).

2. ALTERACION EN LA PRODUCCION DE MIOKINAS Y ROS: el estrés metabólico puede influir en el crecimiento muscular regulando al alza las mioquinas anabólicas, (son proteínas producidas por el músculo esquelético en respuesta a la actividad física), o regulando a la baja las mioquinas catabólicas, o ambas. El aumento en la producción de la interleuquina 6 (IL-6, otra mioquina) puede inducir en el reclutamiento de células inmunes y, en particular, los neutrófilos. Se ha demostrado que la producción de ROS puede estimular la señalización anabólica, ya que actúa como una molécula señalizadora para activar al Mtor complejo I a través de las vías IGF-1 y MAPK (Handayaningsih, 2011); (Kefaloyianni, 2006).

3. HINCHAZON CELULAR: se da como un aumento en el estado de hidratación celular lo que aumenta la síntesis de proteínas y disminuye la descomposición de las mismas. La teoría actual sugiere que un aumento en la hidratación celular causa presión en el citoesqueleto y la membrana celular, lo que se percibe como una amenaza para la integridad de la célula, lo que deriva en un mecanismo adaptativo. Si bien la evidencia científica no es concluyente en este aspecto, podría tener un rol en el anabolismo muscular (Schoenfeld, 2020).

DAÑO MUSCULAR: inducido por el ejercicio puede verse influenciado por un aumento en el volumen, la velocidad, la longitud muscular inicial o la intensidad del ejercicio. Estos estímulos pueden generar un estiramiento excesivo del sarcómero lo que resulta en daños en los discos Z, y finalmente, en una interrupción de la matriz citoesquelética (Proske, 2001); en consecuencia se liberan citoquinas y se activa el sistema inmune (fagocitosis). Estos daños se pueden documentar mediante marcadores directos e indirectos generando pérdidas en los niveles de fuerza con algunos síntomas asociados como rigidez, acortamiento del rango de movimiento, sensibilidad, aumentos de los niveles circulantes de CK o mioglobina (Nosaka, 2003). Una vez que se genera ese estímulo con el posterior daño muscular, los macrófagos y neutrófilos acuden al lugar para generar esa secreción de citoquinas pro inflamatorias (IL – 6 y TNF, factor de necrosis tumoral) ésto va a generar una señalización anabólica a través de una vía que va a fosforilar la vía Mtor CI (Schoenfeld B. J., 2016). Los neutrófilos y macrófagos pueden liberar factores de crecimiento como IGF – 1 (factor de crecimiento similar a la insulina), el factor de crecimiento básico de fibroblastos (bFGF), el factor de crecimiento transformante (TGF) y el factor de crecimiento mecano (MGF), y estos factores contribuyen a la regeneración muscular y la respuesta hipertrófica mediante la activación de células satélite y la señalización de Mtor CI (Koh, 2009); (Zanou, 2013).

CELULAS SATELITE: son células madre residentes en el músculo esquelético encargadas de la reparación y la síntesis de tejido muscular, estas células satélites son cruciales porque maximizan la respuesta hipertrófica al entrenamiento de fuerza. Normalmente las fibras tipo 1 presentan más células satélites que las fibras tipo 2, pero a medida que se incrementa el entrenamiento van aumentando las células satélites en este último tipo de fibra. Su papel principal radica en la “donación” de núcleos o miofibras existentes y también es capaz de contribuir a esas ganancias hipertróficas. La investigación sugiere que el daño muscular inducido por el ejercicio excéntrico puede mejorar las adaptaciones musculares, aunque el daño excesivo claramente tiene un efecto negativo en el desarrollo muscular, ya que llevaría mucho tiempo de recuperación lo cual restaría tiempo para sumar nuevos estímulos de entrenamiento (Schoenfeld, 2020).

3.4 Importancia del músculo esquelético en la salud y el deporte.

Cuando el músculo se somete a una tensión mecánica producto del entrenamiento, genera una mayor sensibilidad a la captación de la glucosa, promoviendo su ingreso al tejido muscular lo que a nivel general produce una mayor sensibilidad corporal a ésta hormona (Jiménez, 2011) ; (Ramirez-Velez, 2011). Por lo tanto, un aumento en éste tejido inducido por el ejercicio y una correcta alimentación impacta positivamente en la resistencia a la insulina, teniendo éste factor un papel fundamental en la prevención de la enfermedad cardiovascular, hipertensión y diabetes mellitus tipo dos (Martinez, 2010); (Jiménez, 2011); (Ramirez-Velez, 2011). Otro papel preventivo que proporciona la actividad física y su positiva repercusión en la masa libre de grasa, es que producirá un aumento en el gasto metabólico total derivando en un descenso en la probabilidad de padecer obesidad, con todas las patologías asociadas que ésta conlleva (Lopez-Fontana, 2003).

En el ámbito deportivo tanto la estructura ósea (hueso), como la estructura plástica (masa muscular y masa grasa), influyen directa e indirectamente en el rendimiento deportivo (Holway, Kinanthropometry of group I rugby players in Buenos Aires, Argentina., 2009). La estimación correcta de la composición corporal en un deportista es muy importante a la hora de determinar sus cualidades y proyección a futuro en cuanto a su desempeño, detectar talentos también puede ser una función muy útil a la hora de estimar la composición corporal (Eston, 2018). Estos datos serían determinantes en deportes con características en donde el peso del cuerpo y la composición corporal son factores excluyentes para su práctica, en los cuales es frecuente observar cambios abruptos en éstas dos variables con el objetivo de ingresar en los parámetros de la competencia. No obstante, la realización de éstos cambios de una manera inapropiada podría afectar negativamente tanto los parámetros de salud como de rendimiento (Kazarez, 2018). Ejemplos de éstos son deportes que se clasifican según su categoría de peso y en los que se valora el componente estético, como es el caso del fisicoculturismo y algunos deportes de combate (Romero-Quintero, 2011). Por otro lado, en deportes de equipo y deportes individuales, la composición corporal también es un aspecto relevante a considerar ya que muchos atletas buscan modificar su tejido graso muscular, con las influencias que éste tiene sobre su peso corporal (Kazarez, 2018). Cuando se necesita realizar desplazamientos donde se traslada el peso el cuerpo, como en una carrera o un salto, un exceso en el peso total puede suponer un inconveniente para el deportista, resultando en una desventaja

contra sus rivales e incluso aumentar el riesgo de lesión (Falces, 2016). Paralelamente un estado de masa muscular óptimo representaría una ventaja a la hora de realizar estos desplazamientos o producirse situaciones de roce o fricción contra oponentes (Holway, Kinanthropometry of group I rugby players in Buenos Aires, Argentina., 2009). Un deportista que no cuente con esta ventaja en su composición corporal podría tener un efecto negativo a la hora de ejercer la fuerza necesaria por los gestos mecánicos que el deporte requiere. No obstante, que la masa muscular sea excesiva tampoco es un aspecto positivo en determinadas circunstancias, ya que también terminaría siendo un factor limitante al influir directamente en un aumento del peso corporal, lo que podría no ser óptimo a la hora de realizar dichos desplazamientos (Ackland, 2012). Como consecuencia de lo anterior numerosos estudios han centrado su foco de atención en analizar cual podría ser la composición corporal óptima para potenciar el rendimiento en función del tipo de deporte (Carvajal-Veitia, Validez del Método Antropométrico de Ross y Kerr (1988) en Población Deportiva De uno u Otro Sexo Experiencia Cubana Durante el Ciclo Olímpico 1996-2000, 2008), será útil la clasificación que hace Farfel (1960) adoptada por Bompa (Bompa, 1991), y utilizada por Yuri Verkhoshansky (1990) donde se clasifican a los deportes según la estructura mecánica básica de su técnica, encontrando tres diferentes grupos de deportes: deportes cíclicos, deportes acíclicos y deportes combinados cíclicos – acíclicos (Bompa, 1991) .

En cuanto a los deportes cíclicos, la característica principal es que la técnica a realizar comprende una serie concreta de movimientos que se repiten consecutivamente configurando una serie de ciclos, donde las fases son las mismas y se repiten en el mismo orden secuencial (Bompa, 1991). En este grupo se pueden encontrar deportes como el atletismo, ciclismo, natación, entre otros. Por su parte, los deportes denominados acíclicos se destacan porque tienen un principio y un fin sin una solución de continuidad, cada movimiento posee una identidad y función propia, y su ejecución tiene objeto en sí misma. La técnica no necesariamente se encuentra sometida a una repetición de un acto motriz en concreto, y sus movimientos no conforman ciclos (Bompa, 1991). Aquí se ubican los deportes de equipo, deportes de combate, deportes de implemento (tenis, pádel, tenis de mesa), donde es posible que no haya una influencia tan importante de la estructura ósea, cobrando la estructura plástica, masa magra y masa grasa, una mayor relevancia a la hora de determinar las probabilidades de éxito de un individuo en su desempeño deportivo (Falces, 2016). También podemos encontrar combinaciones de los dos tipos de clasificaciones, en donde la técnica comprende una combinación entre una primera fase de movimiento con características cíclicas, y una segunda parte con características acíclicas. En este grupo se encuentran deportes como el patín artístico, el atletismo en sus pruebas de salto y el crossfit (Bompa, 1991). Si bien es muy relevante la estructura ósea de un deportista al intentar estimar su potencial rendimiento, se debe aclarar que los componentes plásticos siguen teniendo un peso relevante en el rendimiento deportivo, de tal forma que los deportistas además de contar con una estructura ósea adecuada para la práctica del deporte deben presentar valores de masa muscular y grasa óptimos para alcanzar el máximo rendimiento posible (Douda, 2008).

3.5 Importancia de la masa muscular en el deporte.

En deportistas de alto rendimiento se ha demostrado que es el tejido que mayor variabilidad presenta, aún más que la masa grasa, presentando variaciones de 8 kg en la masa muscular, más del doble de los cambios encontrados en la masa grasa que presentó una media de 3.7 kg al comparar deportistas de diferentes modalidades (Carter, 1982). Por ejemplo, al analizar los datos de los juegos olímpicos de Montreal 1976 (en los que se realizó un estudio antropométrico masivo en más de 400 atletas de diferentes disciplinas), se identificó que la variabilidad es cuatro veces mayor para masa muscular que para los otros tejidos, incluida la masa adiposa. La variabilidad se puede constatar con la desviación estándar que, en varones es de 8.0 kg para masa muscular y solo 3.7 kg para masa adiposa. Si bien otra medida de variabilidad es el coeficiente de variación (desviación estándar entre promedios, expresada en porcentaje), en este caso de 23.3 % para masa adiposa y 20.6% para masa muscular, en términos reales aplicados a la práctica de nutrición deportiva, la variabilidad en kilogramos absolutos entre atletas es mayor para la masa muscular que para la masa adiposa (Holway, 2014). Si se trabaja con atletas juveniles, la cuantificación de la composición corporal es, desde luego, de suma importancia así como determinar el estado de crecimiento y desarrollo. Durante la fase de la adolescencia ocurre la velocidad máxima de crecimiento, que no se observa a la misma edad en todos los adolescentes (Malina, 2009). Como las categorías competitivas infantiles y juveniles suelen establecerse de acuerdo con la edad cronológica, es común que a los 12 a 14 años en varones y 10 a 12 años en mujeres el crecimiento de estatura y tejidos sea muy dispar, lo que crea grandes diferencias de rendimientos e introduce la probabilidad de lesiones. En esta época, la cuantificación de la composición corporal ayuda en la interpretación de los fenómenos biológicos que tienen lugar y es importante vigilar su evolución (Holway, Composición corporal en nutrición deportiva, 2014). Estudios más recientes compararon deportistas que practicaban rugby de forma amateur contra profesionales del mismo deporte, demostró que no se encontraron diferencias significativas en la masa grasa entre los grupos, mientras que se encontraron diferencias significativas en la masa muscular, masa ósea y talla, factores que podrían afectar directamente el rendimiento (Holway, Kinanthropometry of group I rugby players in Buenos Aires, Argentina., 2009).

3.6. Importancia de la estructura ósea en el deporte.

Como ya se ha mencionado anteriormente la estructura ósea es un factor a tener en cuenta, ya que resulta en una limitante de rendimiento, la predicción del desarrollo del atleta a futuro, y comprometiendo el proceso de hipertrofia muscular; conocer variables como el diámetro de los huesos de los atletas es fundamental, en especial los diámetros de los hombros (llamado biacromial) y el diámetro de las caderas (bicrestal), ya que afectan en gran medida al peso de los deportistas, aspecto que puede ser importante en deportes de combate donde las categorías se definen por peso (Henneberg M, 2010). Otros diámetros que también se pueden tomar como indicadores de la estructura ósea son los del codo (humeral) y rodilla (femoral), éstos últimos son diámetros apendiculares. Para entender porque la estructura ósea es importante en el peso de los atletas y, como ésta variable puede predecir la especialidad de los atletas, se puede citar la evaluación de composición

corporal realizada en los juegos olímpicos de Montreal de 1976 en donde se analizaron 302 atletas masculinos, y se encontraron diferencias significativas en el diámetro de las caderas de atletas de distintas disciplinas. Fondistas, saltadores y lanzadores mostraron diferencias en las medidas, aunque la mayor discrepancia se observó en los lanzadores, obteniendo 5 cm más de diámetro que los atletas de las pruebas mencionadas, por lo tanto también presentaban un mayor peso corporal que favorecía al rendimiento en las pruebas (Carter, 1982). Resulta muy difícil incrementar peso, en especial de masa muscular, más allá de la estatura que posea el sujeto, sino se poseen diámetros óseos grandes. Los estudios realizados en las olimpiadas de Montreal demostraron que la correlación entre diámetro bicrestal y peso es de 0.790 ($p= 0.0001$), superior al 0.757 ($p <0.001$) de correlación entre peso y estatura (Carter, 1982). “Esto significa que el diámetro bicrestal representa 62.4% del peso en estos atletas, mientras que la estatura 57.3%” (Holway, Principios básicos de nutrición en el deporte, 2014, p 196). Por lo tanto suele observarse que los atletas que necesitan pesos corporales bajos tienen caderas estrechas, y viceversa. Estudios más recientes consideraron la estructura esquelética como factor determinante al evaluar la composición corporal en jugadores de rugby de la URBA (Unión de Rugby de Buenos Aires) y sus características por posición de juego, para saber si se detectaban diferencias significativas en los componentes músculo-esqueléticos de los jugadores (Holway, 2009). La observación muestra que el rugby es un deporte en el que los jugadores presentan distintos tamaños según la posición de juego que ocupen, por ejemplo, la morfología de los segundos líneas es muy distinta a la del hooker dentro de los forwards por la tensión que sufre la primera línea del scrum y los múltiples choques, debido a esto resulta valioso obtener datos relacionados a su estructura músculo-esquelética para hacer un abordaje nutricional o de entrenamiento mucho más específico y en función de las demandas que el jugador requiera. La muestra de jugadores de rugby resultó muy heterogénea en cuanto a tamaño, composición, proporcionalidad y forma con marcadas diferencias en las posiciones de juego. Los resultados siguieron la lógica de la especificación por posiciones, mostrando que en los forwards los segundos líneas deben tener la suficiente altura para acciones como los line-outs, los hookers y segundos líneas, como es lógico de suponer, presentan una gran estructura ósea y muscular para los scrum, la última línea (alas y número 8) un menor tamaño para favorecer la dinámica dentro del campo de juego (Deutsch, 2007). Entre los backs, tener un tamaño más pequeño puede beneficiar al medio scrum en donde la habilidad parece ser el parámetro más importante, también se puede dar por la falta de choques o colisiones en esta posición; los centros son más robustos que los demás jugadores de la línea de fondo. Los alas presentan un físico más delgado, ya que su función requiere desempeños a alta velocidad. “Junto con la posición específica, las características antropométricas de los jugadores de rugby, en particular las relativas a la altura y la estructura ósea, están delimitadas por la disponibilidad del acervo genético en la población local. No es de extrañar entonces, dada la rareza de ciertos requisitos físicos posicionales, que la inclusión de jugadores extranjeros de otros grupos étnicos se haya convertido en una práctica común en la mayoría de las naciones líderes en rugby que buscan optimizar el rendimiento (Holway, Kinanthropometry of group I rugby players in Buenos Aires, Argentina., 2009 p. 1217). Por lo expuesto en los estudios citados, se puede observar que la cantidad de masa ósea podría influir directamente en el desarrollo de la masa muscular, observándose una tendencia a tolerar mayores kilogramos de masa muscular, aquellos esqueletos más grandes y pesados, por lo que puede considerarse un posible factor predictor de la

cantidad potencial de masa muscular que podría desarrollar un sujeto. En una muestra de población normal, el esqueleto de adultos suele tomar valores comprendidos entre 5.0 kilogramos en hombres y 9.0 kilogramos en mujeres, y entre 7.0 y 12.0 kilogramos en hombres (Holway, 2014). Una de las técnicas más utilizadas para estimar la estructura ósea es la antropometría, por su aplicación práctica y bajo coste tiene gran aplicación en campo, por lo tanto la hace factible de usar en deportistas como en individuos sedentarios. Al presentarse como uno de los métodos más utilizados, cabe el análisis de las fórmulas usadas para estimar el tejido óseo y cuales son sus principales exponentes, como así también dilucidar posibles limitaciones a la hora de extrapolar datos (Alvero-Cruz, 2009).

En el año 1974 el autor Rocha desarrolla una ecuación para el cálculo del peso óseo, en la muestra original incluyó un total de 2545 individuos de ambos sexos integrados por 1028 hombres y 1517 mujeres, con una edad comprendida entre 17 y 25 años. Fueron evaluados los diámetros del fémur, húmero y radio (Rocha, 1975). Si bien ésta fórmula es una de las más usadas en la actualidad (Alvero-Cruz, 2009), sus estimaciones podrían plantear errores en la predicción de la masa ósea en deportistas, ya que ésta fórmula solo está estimando el tamaño del esqueleto, al incluir solamente la talla y pequeños diámetros (Torres-Navarro, 2017). Pero la técnica cuenta con la limitación de no poder estimar la densidad mineral ósea (Costa-Moreira, 2015). En éste sentido es importante aclarar que para un mismo tamaño la densidad mineral ósea (DMO) puede ser diferente en función de las proteínas que constituyen su matriz y su contenido mineral óseo, cuya cantidad no afecta necesariamente el tamaño del hueso (Mudd, 2007). Por lo que al medir aisladamente el diámetro de un hueso, se estaría realizando solo una visión externa del mismo, omitiendo una información de gran relevancia que podría influir en el peso, estado de salud y fortaleza de éste tejido (Torres-Navarro, 2017). Mediante éste cálculo se observó valores mas altos de masa ósea en atletas que se desempeñan en deportes sin impacto como nadadores y ciclistas, al compararlos con deportistas que practican disciplinas donde el impacto es mucho mayor, como triatletas y deportes de equipo. Este hecho se contrapone con la evidencia científica que demostró un aumento mucho mayor en la densidad mineral ósea en disciplinas con alto nivel de impacto (atletismo, voleibol), al compararlas con deportes con un nivel de impacto menor, como es el caso del ciclismo y natación, donde no se observaron dichos aumentos en la densidad mineral ósea por mas que la intensidad y la carga muscular fueran altas (Torres-Navarro, 2017). El hecho que podría explicar porque mediante la ecuación propuesta por Rocha se observaron valores mas altos en deportes como la natación, pudiera deberse a que por las características del deporte los atletas son morfológicamente mas grande, derivando en una cantidad de kilogramos de masa ósea mayor (Torres-Navarro, 2017). Cabe recalcar también que si bien el estudio es prometedor, en la muestra no se aclara si están incluidos deportistas o no (Rocha, 1975); se centró en edades donde se suelen encontrar esqueletos con una estructura ya formada y una buena densidad mineral ósea (Mudd, 2007). Como consecuencia de esto suele ser habitual que la fórmula sobreestime la masa ósea cuando se utilice en poblaciones fuera de ésta edad al asumir una DMO mayor de la real (Mudd, 2007). Otra desventaja es que el protocolo utilizado en la toma de medidas y la validación de las ecuaciones no se encontraron documentadas, por lo que es imposible saber la fiabilidad del método utilizado como Gold estándar o el protocolo que siguieron para su reproductibilidad (Alvero-Cruz, 2009). Por otra parte, en el estudio sólo se incluyeron las variables antropométricas como la estatura, y los diámetros del fémur y la muñeca,

pudiendo ser éstas variables poco representativas cuando se intenta valorar el peso total de la masa ósea, al excluir el peso total del individuo o los diámetros del tronco. Como consecuencia se ha apuntado que la estimación de la masa ósea podría ser poco específica (Torres-Navarro, 2017). Por éstas razones a pesar de que la fórmula de Rocha se haya recomendado para su utilización en población infantil, adulta, deportistas y obesos (Alvero-Cruz, 2009), su uso podría no ser fiable, ni sus resultados comparables con los obtenidos por otros métodos de distintos autores (Rocha, 1975). Una excelente propuesta sería combinar ésta fórmula combinada con datos que pueda aportar una evaluación con DEXA, ya que se considera el método patrón para evaluar la DMO, y de ésta manera compensar las limitaciones de la fórmula propuesta por el autor (Lukaski, 1993). Por otra parte, a partir de los datos del estudio de cadáveres de Bruselas, el autor Alan Martin en el año 1990, desarrolló ecuaciones de regresión sobre la estimación de la masa ósea (Chamorro, 2005). El cálculo cuenta con la limitación, que al ser un calculo de regresión, sus resultados son representativos sólo para la muestra en que se realizó, por lo que sólo podría aplicar a una población de ancianos con características similares a los incluidos en el trabajo. Este gran limitante hace que se puedan producir errores al realizar éste cálculo en la población deportista, donde por su edad y actividad, sería normal encontrar esqueletos mas grandes, por lo que el cálculo de tejido óseo podría ser sobreestimado (Chamorro, 2005).

Siguiendo la propuesta del modelo de fraccionamiento de cinco componentes basada en el modelo Phantom, la Dra. Kerr y el Dr. William Ross incluyen como componente separado la masa ósea, validando el método con los datos recogidos de los cadáveres en Bruselas (Kerr, 1988). Comparando la fórmula con la de los autores Martin y Rocha, el método propuesto por Kerr presenta la ventaja de poder estimar el peso total del esqueleto en deportistas y sedentarios de una forma mas adecuada, debido a que utiliza una muestra donde incluyó individuos de una franja de edades muy amplia, con diferentes niveles de actividad física y validó sus cálculos con estudios cadavéricos (Kerr, 1988); sin embargo, no hay que pasar por alto la limitación antes mencionada con respecto al método, ya que el mismo no podría estimar la DMO (Chamorro, 2005).

3.7 índice músculo óseo.

Se observó que buenos niveles de masa muscular podrían tener efectos protectores sobre el tejido óseo; efecto que ocurre también a la inversa ya que un adecuado desarrollo y salud ósea va a propiciar un entorno favorable para un buen crecimiento de la masa muscular (Rexach, 2006); (Correa-Rodríguez, 2014). Por la estrecha relación que guardan los tejidos entre sí, analizarlos aisladamente podría derivar en una interpretación incompleta de la composición corporal. Además, ambos tejidos están influenciados por la alimentación, el entrenamiento físico y los hábitos de vida; podrían ser utilizados como predictores del estado de salud de una persona; y su análisis también es de gran utilidad en el ámbito deportivo por su influencia en el rendimiento (Holway, 2009); (Rexach, 2006). Como ciencia que estudia la relación cuantitativa entre estructura y función, ayudando al profesional de ciencias de la salud y el deporte estimar la masa muscular y ósea, y relacionarla con determinadas funciones, llegando a comprender de una manera

mas detallada la biomecánica del cuerpo humano (Holway, 2014), el modelo antropométrico cuenta con herramientas analíticas específicas para la valoración del deportista. Este es el caso del índice músculo óseo (IMO), dicho índice se calcula al dividir los kilogramos de masa muscular entre los kilogramos de masa ósea (Holway, 2009). Este índice se podría explicar aplicando una analogía derivada del ámbito automotriz, su autor lo describe como una relación motor/chasis, describiendo cuál es el nivel del desarrollo de la masa muscular en relación con una de sus limitantes, la masa ósea o esquelética (Holway, 2014). Es importante aclarar que, si bien el músculo se inserta sobre las superficies óseas mediante tendones y ligamentos, el tamaño de la superficie ósea determinará la fuerza que la unión tendinosa puede ejercer. Se estima que como medida de seguridad, la biología del ser humano no permitiría que exista un músculo con la capacidad de ejercer una fuerza que supere la capacidad de resistencia de las uniones músculo-tendinosas, provocando desprendimientos y lesiones, por lo que existen mecanismos protectores inhibidores, como el aparato de golgi (Holway, 2014). El mecanismo mencionado, puede no ser del todo eficiente en individuos que han utilizado fármacos como esteroides anabolizantes con el objetivo de aumentar su masa muscular por encima de sus límites naturales y más rápidamente que la velocidad de fortalecimiento de tendones y ligamentos, pudiendo derivar con lesiones en éstos tejidos (Holway, 2014). Tanto la masa ósea como la masa muscular tienen un comportamiento “gaussiano” de distribución normal, que al establecer el índice de ambos se observan parámetros de lógica esperables para gente con una estatura dentro de lo normal. En el caso de individuos con talla muy elevada o muy baja éste índice deja de ser fiable (Holway, 2014). En un estudio realizado por Francis Holway y colaboradores se estimaron posibles rangos de normalidad de IMO para la población argentina, se observaron valores comprendidos entre 3 y 4.2 en mujeres, y entre 3.8 y 4.9 en hombres (Holway, 2014). Estos rangos de normalidad pueden variar de gran manera en deportistas cuya masa ósea se encuentre cercana del extremo superior o inferior, pudiendo encontrar valores de IMO muy elevado en esqueletos pequeños, y lo contrario en los casos de un individuo con masa ósea muy elevada (Holway, 2014). Sin embargo, si el esqueleto se encuentra dentro de los valores de normalidad, un IMO debajo del límite inferior podría deberse a una desnutrición crónica, mientras que valores muy elevados podrían despertar la sospecha de la utilización de sustancias anabólicas dopantes, pudiendo existir casos en los que esto se deba sólo a un componente genético muy favorable para la hipertrofia (Holway, 2014). En estudios sobre jugadores de rugby, fútbol y nadadores (Holway, 2009); (Kazarez, 2018), se establecen referencias de IMO según deporte y puesto. Con éste dato, sabiendo los kilogramos de masa ósea con los que cuenta el deportista se podría estimar cuanto músculo necesita en base a su estructura ósea para parecerse más a los deportistas de referencia (Kazarez, 2018). Existen cantidades de kilogramos ideales de masa muscular en cada situación y para cada individuo en un contexto determinado. Además, es importante destacar la relación peso-potencia en función de la biomecánica empleada en los deportistas, por lo que podría ser de interés de todo profesional que se desempeñe en el ámbito deportivo tener conocimientos sobre la estimación de masa ósea, masa muscular, y las relaciones que se establecen entre las mismas (Holway, 2014).

3.8 Evaluación crítica de la construcción del músculo esquelético.

En el año 1897 Morpurgo fue el primer investigador en analizar experimentalmente la hipertrofia del músculo esquelético inducida por entrenamiento, realizó sus estudios en el músculo sartorio de un perro después de dos meses de entrenamiento de carrera, describió sus resultados como un aumento en el diámetro de la fibra debido a un aumento en el volumen sarcoplásmico (Morpurgo, 1897). A raíz de éste primer trabajo, surgieron múltiples definiciones y modos de hipertrofia del músculo esquelético inducido por entrenamiento. A modo de ejemplo, Helander y colaboradores informaron mayores aumentos en el peso muscular y la densidad miofibrilar en cobayas después de un entrenamiento de carrera realizado 6 días a la semana durante 4 meses en comparación con los animales de control. El autor llegó a la conclusión de que los cambios producidos por el ejercicio se debían a un aumento de la densidad miofilamental de la célula muscular, por el contrario, el grupo control o de actividad restringida vió reducida su densidad miofilamental y aumentó su contenido sarcoplásmico (Helander, 1961). Otro de los trabajos que surgieron después del primero de Morpurgo fue el del autor Goldspink, que en el año 1964 publicó un informe que involucraba el entrenamiento de ratones a través de un aparato de poleas diseñado para poner a prueba el músculo bíceps braquial. Después de 25 días de entrenamiento se realizó una evaluación histológica del tamaño de la fibra muscular y el número de miofibrillas por fibra en sección transversal (Goldspink, 1964). El autor notó una correlación muy fuerte entre el número de miofibrillas por fibra y el tamaño de la fibra muscular, y éste hallazgo, junto con el de Helander, ayudó a dar forma al consenso actual de que los aumentos en el área de sección transversal y la acumulación de proteínas miofibrilares son proporcionales durante el entrenamiento de fuerza. Otros ensayos con animales estuvieron de acuerdo o refutaron los hallazgos (Gordon, Adaptations of muscle to various exercises. Studies in rats, 1967); (Seiden, 1976) y (Goldspink G. a., 1974), encontraron resultados diferentes al analizar las investigaciones, remarcando que los estudios sobre los tipos de hipertrofia tenían grandes variaciones en el diseño experimental, y específicamente, diferencias en las dosis de ejercicio. Si bien se registran estudios aislados desde la década de 1950 que informaban la asignación de una técnica de biopsia en humanos, no fue hasta que Jonas Bergstrom introdujo su técnica de muestreo con aguja en 1962, que éstos métodos se utilizaron de manera más abierta en la investigación humana relacionada con la hipertrofia del músculo esquelético (Ekblom, 2017). Penman fue el primero en caracterizar las alteraciones ultraestructurales en el tejido del músculo esquelético humano en respuesta a tres formas de entrenamiento que se clasificaron como entrenamiento isotónico, isométrico o de carrera. Curiosamente, los tres modos de entrenamiento redujeron la concentración de “fibras de miosina”, que Penman caracterizó como el número de miofibrillas dentro de una área de 5 μm de fibras musculares (Penman, Ultrastructural changes in human striated muscle using three methods of training, 1969). Un estudio posterior en el año 1970 por el mismo autor, informó aumentos del 40% en la fuerza máxima, aunque también observó reducciones en la distancia entre los filamentos de miosina y reducciones en el diámetro celular después de 10 semanas de entrenamiento, que incluyeron 5 sesiones por semana de extensiones de ambas piernas y ejercicios de carrera (Penman, 1970). Penman interpretó estos hallazgos para indicar que el aumento de la fuerza del músculo esquelético en respuesta al entrenamiento de fuerza sin un aumento en el tamaño de la fibra, implicaba un aumento de la densidad de empaquetamiento de los elementos contráctiles. Si bien la investigación fue pionera, el estudio de Penman de 1969 carecía de potencia estadística ya que sólo incluyó 6 sujetos y 3 sujetos en la investigación

posterior del año 1970, lo que prohíbe el poder estadístico suficiente para la inferencia a toda la población. Siguiendo los trabajos de Penman, se publica en el año 1982 un artículo de MacDougall y colaboradores que utilizaron métodos de microscopía electrónica de transmisión (TEM) e informaron reducciones en los volúmenes miofibrilar y mitocondrial del bíceps braquial, así como un aumento en el volumen sarcoplásmico en respuesta a 6 meses de entrenamiento de fuerza en sujetos humanos previamente desentrenados. Además, la muestra de músculos de un grupo de 7 culturistas y levantadores de pesas se compararon con los sujetos previamente desentrenados que entrenaron 6 meses la fuerza, y los autores informaron que éste análisis reveló un volumen miofibrilar menor, y mayor volumen sarcoplásmico en las fibras de los sujetos fisiculturistas y levantadores de pesas. Los autores concluyeron que las disminuciones en el volumen miofibrilar en sujetos con una mayor experiencia de entrenamiento de fuerza, pueden haber estado relacionadas con una mayor acumulación de glucógeno y aumentos en la ICF (fracción intracelular), particularmente en los fisiculturistas y levantadores de pesas. No obstante, la contribución de los componentes sarcoplásmicos a la hipertrofia de las fibras musculares durante el entrenamiento de fuerza permanece en gran parte inexplorada. Entre las décadas de 1970 y 1990, estudios de distintos autores como Gollnick, Saltin, Tesch, MacDougall, Alway y otros, utilizaron la técnica Bergstrom para evaluar histológicamente la composición del tipo de fibra muscular y las diferencias de área de sección transversal entre levantadores de pesas bien entrenados y sujetos desentrenados (Gollnick, 1972); (Staron, Human skeletal muscle fiber type adaptability to various workloads, 1984); (Tesch); (Larsson, 1986); (Sale, 1987); (Alway, 1988). Si bien la mayoría de éstos estudios examinaron el vasto lateral, algunos estudios realizaron biopsias de los músculos deltoides, soleo, bíceps braquial y trapecio. En la década de 1990 varios laboratorios de fisiología del ejercicio buscaron determinar cómo semanas o meses de entrenamiento de fuerza afectaban los valores de área de sección transversal del músculo vasto lateral en individuos desentrenados. En particular, Staron, Hikida y muchos otros realizaron un trabajo fundamental en ésta área (Staron, Muscle hypertrophy... resistance-trained women, 1990); (Wang, Muscle fiber...and enzyme activity, 1993), y la investigación ha sido replicada por varios laboratorios durante el siglo XXI. La mayoría de los trabajos de laboratorios como los estudios de (Hikida, 2000); (Petrella, 2008); (Reidy, Protein supplementation does not affect myogenic adaptations to resistance training, 2017); (Mobley, Biomarkers associated with low, moderate, and high vastus lateralis muscle hypertrophy following 12 weeks of resistance training, 2018), solo por mencionar algunos, han demostrado que, en general, semanas o meses de entrenamiento de fuerza aumentan el área de sección transversal media. Si bien hay algunos estudios de entrenamiento que han integrado métodos histológicos y microscopía electrónica de transmisión (TEM) para describir adaptaciones microscópicas y ultraestructurales (Luthi, 1986); (Toth, 2012), la mayor parte de la investigación posterior a la década de 1980 en esta área solo realizó evaluaciones histológicas dado que las metodologías TEM no son ampliamente accesibles. Comparativamente, menos investigaciones han utilizado métodos bioquímicos para evaluar la concentración de proteínas miofibrilares y sarcoplásmicos del músculo esquelético después de períodos de entrenamiento. Además de los trabajos de microscopía mencionados anteriormente, las primeras investigaciones en masa muscular posteriores al vuelo espacial y los análisis de los cambios en la densidad de los filamentos delgados (LeBlanc, 2000); (Riley, 2000), también allanó el camino para la resonancia magnética, y la delicada investigación microscópica de la adaptación muscular al entrenamiento. Los estudios antes mencionados demuestran que un objetivo claro de los laboratorios por más de un siglo,

ha sido evaluar como el entrenamiento afecta los índices representativos de la hipertrofia del músculo esquelético.

3.9 Consenso de definición de hipertrofia.

Resulta necesario una definición operativa del término “hipertrofia” para poder abordarlo de manera objetiva. Se propone que la hipertrofia del músculo esquelético se defina como un aumento del tamaño, acompañado de un aumento en la abundancia de minerales, proteínas o sustratos (por ejemplo glucógeno). Sin embargo, considerando la evidencia revisada, se podrían adoptar tres formas de definición de hipertrofia: hipertrofia del tejido conectivo, hipertrofia miofibrilar e hipertrofia sarcoplásmica. La hipertrofia a nivel del tejido conectivo se puede definir como un aumento en el volumen de la matriz extracelular del músculo esquelético acompañado de un aumento en la abundancia de minerales o proteínas. La hipertrofia sarcoplásmica se puede definir como un aumento crónico en el volumen del sarcolema o sarcoplasma acompañado de un aumento en el volumen de las mitocondrias, retículo sarcoplásmico, túbulos t y enzima sarcoplásmica. Por su parte, la hipertrofia miofibrilar se puede definir como un aumento en el tamaño y número de miofibrillas acompañado de un aumento en el número de sarcómeros o abundancia de proteínas sarcoméricas directamente relacionado con la estructura o generación de fuerza contráctil del sarcómero. Teniendo en cuenta éstas definiciones, es fundamental apreciar el hecho de que las técnicas de medición evalúan diferentes formas de construcción del músculo y tales diferencias no hacen que una medición sea mejor o peor sino que resultan diferentes (Haun C. T., 2019). Hay factores como la limitación de recursos, las capacidades técnicas y los riesgos potenciales para los participantes, que afectan la selección de las evaluaciones de la hipertrofia muscular (Holway, 2014). Descartar metodologías que proporcionan una menor resolución de los cambios moleculares basándose únicamente en este hecho es inapropiado, ya que una buena confiabilidad de una prueba puede ser útil para examinar los cambios a largo plazo e inferir las intervenciones del entrenamiento de fuerza. Es decir, mientras que las pruebas microscópicas no evalúan directamente la acumulación de proteínas miofibrilares y aumentos en el área de sección transversal, los aumentos en éstas variables deberían resultar en eventuales aumentos en los índices macroscópicos. Dicho de otra manera, mientras que algunos métodos para detectar la hipertrofia verdadera son más confiables (como los que miden el aumento de la acumulación de proteína miofibrilar), los métodos de resolución más baja no son inútiles ya que casi con certeza serían predictores de la hipertrofia verdadera. Si bien puede ser difícil determinar porque los métodos de evaluación de hipertrofia no coinciden, se pueden adoptar ciertos procedimientos para aclarar los hallazgos de la investigación. En primer lugar, si se examina una sola variable de la medición de la hipertrofia es probable que se encuentren informes de medición de esa sola variable, lo cual sería un dato muy escaso para determinar que dicha variable se modificó en respuesta al entrenamiento de fuerza; al menos que se tengan en cuenta múltiples niveles de medición junto con la evaluación de las alteraciones de los fluidos, se debería informar la medición en sí, en lugar de concluir que la hipertrofia del músculo esquelético ocurrió sola. En otras palabras, el lenguaje claro relacionado con los datos del resultado de un método debe informarse explícitamente para representar mejor la naturaleza de una medición específica (Haun C. T., 2019). En segundo lugar, si se recopilan múltiples índices de hipertrofia del músculo esquelético, sería valioso incluir asociaciones entre las medidas para proporcionar una mayor comprensión de que tan bien o mal concuerdan las mediciones. En tercer lugar, el uso de métodos para determinar

los cambios regionales de líquido que dan cuenta de los cambios a nivel intra y extracelular podría delinear mejor el modo de hipertrofia y, si los cambios de masa en una región de interés se debieron en gran medida a la acumulación de líquido. Finalmente, calcular la confiabilidad test-retest de las evaluaciones hipertróficas para establecer errores estándar de medición también es una estrategia poderosa para concluir si ocurrió hipertrofia o no.

3.10 Métodos actuales utilizados para evaluar hipertrofia.

El enfoque en la presente revisión está puesto en las mediciones comunes que se realizan en los estudios de investigación que tienen como objetivo evaluar directamente el tejido muscular e inferir que se ha producido hipertrofia muscular. Se realiza una breve descripción de los métodos de medición para proporcionar un contexto sobre como difiere cada medida y cuáles pueden ser las implicancias de esas diferencias. Existe una gran cantidad de técnicas de medición para evaluar la hipertrofia de acuerdo con una dimensión establecida, es decir, grosor (1D), área de sección transversal (2D), volumen y masa (3D), (Haun C. T., 2019).

Evaluación macroscópica.

Evaluación del grosor muscular mediante ultrasonido.

El grosor muscular evaluado mediante ecografía en modo B, es una evaluación rápida, fácil, relativamente económica y no invasiva del tamaño muscular bruto. Para medir el grosor muscular, los investigadores a menudo obtienen imágenes en la mitad del abdomen de un músculo y miden la distancia lineal entre la aponeurosis profunda y superficial del músculo de interés (Franchi, 2018). Si bien se ha demostrado que el grosor muscular es altamente confiable en una variedad de músculos, presentando correlaciones intraclase (CCI) de 0.65-0.94, (Thoirs, 2009), no es un dato suficiente porque es sólo representativo de una dimensión del músculo. Las correlaciones intraclase (CCI) nos permiten medir la concordancia entre dos o más valoraciones cuantitativas (continuas), obtenidas con diferentes instrumentos o evaluadores (Laboratori d'Estadística aplicada, 2014). Por ejemplo, en relación con el grosor, el ancho y la longitud del músculo pueden hipertrofiarse de manera diferente y los cambios proximales pueden ser diferentes a los cambios distales. Éste aspecto fue demostrado recientemente por Vigotsky y colaboradores (Vigotsky, 2018), quienes informaron que la hipertrofia de diferentes regiones del mismo músculo no está fuertemente relacionada dentro de un individuo. Además el ultrasonido depende en gran medida de la habilidad del investigador, dado que las diferencias en la presión ejercida por el transductor contra la piel pueden dar como resultado variaciones sustanciales en las mediciones y, por ello, altas tasas de error entre evaluadores. Por lo tanto, las evaluaciones ecográficas del grosor muscular proporcionan una evaluación rápida y práctica del tamaño del músculo en 1D, pero la calidad de éstas evaluaciones puede muy bien depender del evaluador. Estudios recientes llegaron a las mismas conclusiones a la hora de abordar las mediciones con dispositivos de ultrasonido, Lacerda Lucas T y colaboradores (Lacerda, 2020), evaluaron diez hombres sin experiencia en entrenamiento de la fuerza. Luego de semanas de un protocolo de

ejercicios enfocados en los miembros inferiores, en donde cada pierna fue asignada en 1 de 2 protocolos de entrenamiento unilateral llegando al fallo muscular y, sin llegar al fallo, en el ejercicio de extensión de rodilla, evaluaron mediante ultrasonido los músculos recto femoral y vasto lateral. Para lograr precisión en las mediciones y achicar el margen de error los músculos se marcaron en las regiones anteriores de ambos miembros para identificar los puntos donde las imágenes fueran adquiridas posteriormente por el equipo de ultrasonido. Luego se colocó una línea con una cinta adhesiva microporosa a 2 cm de cada punto porcentual en el muslo para delimitar la ubicación donde se colocaría la guía de la sonda del ultrasonido durante la adquisición de la imagen. Por último, se registraron las distancias entre la línea intercondilar (entre los extremos de las piernas) y cada punto porcentual en los muslos para la replicación posterior a la prueba. La sonda se colocó transversalmente en paralelo a la línea intercondilar utilizando una guía acoplada en el muslo del voluntario. Este procedimiento se realizó con velocidad constante (controlada por metrónomo) y tuvo una duración de entre 12 y 15 segundos, variando según la circunferencia del muslo del voluntario. Se obtuvieron dieciséis imágenes por voluntario para el análisis de los músculos recto femoral y vasto lateral (8 pre-test y 8 post-test). Aunque se usa comúnmente en la literatura, la CSA medida en un solo punto en la longitud del músculo puede no representar adecuadamente toda la respuesta hipertrófica del músculo (Antonio, 2000). Por lo tanto, el análisis de CSA utilizando varios puntos a lo largo de la longitud del músculo debe proporcionar una descripción más precisa de la respuesta del músculo hipertrófico (Antonio, 2000).

Absorciometría dual de rayos X (DEXA).

La absorciometría dual de rayos x fue creada originalmente para medir la densidad mineral ósea, pero actualmente su uso se ha extendido para evaluar los cambios en la masa del músculo esquelético. El método que utiliza dexa genera imágenes en 2D, a través de la atenuación de fotones, cuando éstos atraviesan los tejidos de los sujetos son absorbidos por el efecto fotoeléctrico o “efecto compton” (Plank, 2005). Su fiabilidad para diagnosticar patologías como sarcopenia, obesidad y osteoporosis ha llevado a que este método de análisis cobre mucha importancia en la actualidad; de hecho es considerada como “Gold standard” o “método de referencia” en el estudio de la composición corporal en investigaciones clínicas (Thibault, 2012). Las evaluaciones a través de dicho método diferencian en el cuerpo humano 3 componentes: masa grasa, masa magra y masa mineral esquelética (Lustgarten, 2011). Si bien los análisis de composición corporal usando dexa presentan elevados niveles de precisión y múltiples aplicaciones, como por ejemplo, en el diagnóstico de enfermedades, discriminando por segmentos corporales masa magra, masa grasa y masa esquelética, destacándose en la masa grasa la diferencia entre visceral (Kaul, 2012) y abdominal (Glickman, 2004), también cuenta con ciertas limitaciones que en la realidad concreta presenta dificultades; a saber, solo puede aplicarse a una población reducida ya que en individuos con un peso menor a 40 kg deja de ser fiable el método (Shypailo, 2008), como así también en individuos con una estatura mayor a 1,90 m, tampoco puede diferenciar con suma precisión pequeños cambios de masa muscular tras un periodo de entrenamiento (Delmonico M. J., 2008). Uno de los componentes que supone en el cuerpo humano, como la masa grasa puede verse alterada a la hora de la medición por los estados de hidratación del sujeto (Pietrobelli, 1996). Las complicaciones mencionadas que presenta el uso de dexa como método de análisis de la composición corporal, sumada a que los sujetos se los debe exponer a una leve radiación,

llevan a los profesionales a resignar precisión y fiabilidad por métodos que tengan más impacto en la práctica diaria como antropometría o la bioimpedancia.

Tomografía computarizada (TC).

La tomografía computarizada (TC) se introdujo a principios de la década de 1970 (Hounsfield, 1973) y tiene la capacidad de proporcionar imágenes 2D de alto contraste con intensidades de píxeles relacionadas con la densidad del tejido. Los tejidos que a menudo se miden incluyen el adiposo y el músculo esquelético (Heymsfield, 2014). Cuando se usa como una medida de hipertrofia muscular, es común que las imágenes se segmenten manualmente para músculos o grupos de músculos específicos y luego se cuantifiquen. La TC se considera un método válido y fiable para evaluar los cambios en el área de sección transversal muscular. Diversos estudios arrojan coeficientes de variación del 0,6 % para exploraciones repetidas de área de sección transversal muscular utilizando métodos de TC, y coeficientes de confiabilidad entre evaluadores e intraevaluadores de 0,996 y 0,997 respectivamente. Una de las limitaciones de la TC es que los sujetos están expuestos a una mayor dosis de radiación en relación con las evaluaciones usando la metodología DEXA, además de ser muy costoso (Prado, 2014).

Ultrasonido panorámico y de campo de visión extendido.

El ultrasonido panorámico y de campo de visión extendido son nuevas técnicas que utilizan imágenes de ultrasonido en modo B tradicionales, pero “unen” una serie de imágenes para reconstruir una imagen 2D más grande y más amplia. Estas técnicas se han aplicado principalmente para la evaluación del área de sección transversal anatómica (ASTA) y la longitud del fascículo. La investigación muestra que la ecografía panorámica muestra un rango de coeficiente de correlación de concordancia (CCC) al estimar la hipertrofia y la atrofia en comparación con la resonancia magnética CCC = 0.37 – 0.78) (Scott, Panoramic ultrasound: a novel and valid tool for monitoring change in muscle mass, 2017). Axialmente, se ha demostrado que la ecografía de campo de visión extendido es válida y confiable para evaluar la longitud del fascículo extensor cubital del carpo (Adkins, 2017). Además, se ha demostrado que las evaluaciones de los músculos de la zona media del muslo mediante ecografías de campo de visión y TC concuerdan bien entre sí (Noorkoiv, 2010). Sin embargo, estudios han demostrado que las imágenes ecográficas panorámicas de varios grupos de músculos suelen producir valores de ASTA más bajos en comparación con los valores de resonancia magnética (Scott, Reliability and validity... quantification, 2012). Estos hallazgos resaltan los matices requeridos al interpretar los resultados utilizando imágenes de músculos completos, en el sentido de que es probable que existan diferencias específicas de dimensión en la validez y confiabilidad.

Resonancia magnética.

La resonancia magnética no es invasiva y permite la discriminación entre músculos separados y se considera como el Gold standard o el método de referencia para la evaluación de la masa muscular regional (Smeulders, 2010). Se basa en la interacción entre los núcleos atómicos del hidrógeno y los campos magnéticos generados y controlados con el dispositivo. Cuando un campo de radiofrecuencia pulsada se aplica a los tejidos del cuerpo, los protones del hidrogeno absorben la energía; cuando la

radiofrecuencia se apaga, los protones vuelven gradualmente a su estado anterior y liberan la energía absorbida en forma de otra señal de radiofrecuencia que se utiliza para el desarrollo de las imágenes de resonancia magnética (Lukaski, Sarcopenia: Assessment of Muscle Mass, 1997). Los sistemas de adquisición de datos de resonancia magnética están programados para aprovechar la densidad de protones específica y los tiempos de relajación de los distintos tejidos, para así poder aumentar el contraste entre el tejido adiposo y el músculo esquelético. Específicamente, el tiempo de relajación para el tejido adiposo es mucho más rápido que su contraparte para el músculo esquelético (Lukaski, Sarcopenia: Assessment of Muscle Mass, 1997).

Por lo tanto, la resonancia magnética es útil para estudiar tejidos blandos densos en hidrógeno, como el tejido adiposo y el músculo esquelético. Otra de las utilidades que presenta es que mide con precisión la grasa visceral y la grasa intramuscular sin irradiar a la persona (Shuster, 2012), con correlaciones que presentan $R^2 = 0,99$; y coeficiente de variación entre 2,1 y 6,5%. Aunque estas medidas son precisas en capturar el tamaño del músculo, los equipos de resonancia magnética son poco accesibles debido a su elevado costo, por lo tanto su uso es escaso en la literatura. Además, aunque la resonancia magnética es el Gold standard para evaluar el volumen segmentario de un grupo muscular en particular, no detecta las adaptaciones moleculares que ocurren dentro de las fibras, por ejemplo, cambios en la concentración de proteína contráctil, concentración de proteína sarcoplásmica, cambios en la concentración de líquido intracelular versus extracelular; tampoco puede dilucidar la naturaleza metabólica y funcional del tejido en comparación con otros métodos (Hellerstein, 2017).

Ultrasonido tridimensional.

La ecografía tridimensional es un enfoque más nuevo y prometedor para capturar la arquitectura muscular en 3D con la ecografía en modo B estándar. Al combinar la ecografía con la captura de movimiento en 3D, la ubicación y orientación de cada fotograma de un video de ultrasonido, se puede transformar en el sistema de coordenadas del laboratorio (Mozaffari, 2017). Por lo tanto, los límites de los músculos en cada cuadro digitalizado se pueden reconstruir en 3D, a partir de los cuales se puede calcular el volumen o área del músculo. Estos enfoques se han validado frente a la resonancia magnética con una CCI $> 0,99$. Estos aportes son prometedores para mejorar la comprensión no sólo de la geometría muscular, sino también de la función (Barber, 2009). Además, la ecografía tridimensional permite cuantificar la geometría a nivel de fascículo en 3D (Rana, 2013).

Antropometría.

El modelo antropométrico se presenta como una herramienta muy útil para analizar la masa muscular, a través de una de sus variables como la toma de perímetros corregidos por pliegues y las áreas musculares transversales. Entre una de sus tantas virtudes, la que destaca por sobre otras propuestas, es la posibilidad de poder comparar aisladamente los perímetros corregidos, y en base a éstos datos, valorar las progresiones del individuo o compararlos con poblaciones de referencia; muy distinto a otros métodos que cuentan con complejas fórmulas de regresión lineal para poder estimar kilogramos totales (Sellés-Pérez, 2019). Otra ventaja que presenta este modelo es la de poder localizar el desarrollo muscular por segmentos corporales, ya que es muy común incurrir en errores de

interpretación a la hora de extrapolar los datos a todo el organismo, por ejemplo, al valorar a un deportista que pudiera presentar un bajo desarrollo muscular en un área en concreto, pero que en líneas generales presenta un buen desarrollo muscular, se podrían compensar estos valores y omitir un dato que podría ser de gran utilidad tanto para el rendimiento deportivo como para la prevención de lesiones (Holway, 2014). En la bibliografía se encuentran una gran variedad de métodos y ecuaciones para estimar la masa muscular, pero en la práctica diaria no se aplican de manera correcta; siempre que se evalúe a un individuo usando antropometría es necesario situarse siempre en el mismo modelo de fraccionamiento anatómico y de ser posible el mismo método o herramienta (Alvero-Cruz, 2009). Si bien se ha realizado un consenso sobre las propuestas más adecuadas para estimar éste tejido (Alvero-Cruz, 2009), tanto la práctica en campo como en el ámbito científico, no están establecidas las fórmulas a elegir para una población específica, por lo que la elección suele basarse en la preferencia de los usuarios y la disponibilidad de tiempo y material. Esta situación puede derivar en errores porque se pueden comparar valores de masa muscular que pudieran no ser comparables entre sí, por presentar diferencias significativas (Fernández-Vieitez, 2001). Distintos autores a lo largo de los años han propuesto ecuaciones para tratar de resolver los problemas que se presentaban cuando se estimaba la masa muscular; tal es el caso de Jindrich Matiegka y colaboradores (Matiegka, 1921) que desarrolló un modelo de 4 componentes compuesto por masa muscular, masa esquelética, la piel y el tejido graso subcutáneo (ambos dentro del mismo compartimento), y otro grupo al que denominó “remanentes” que incluía órganos vísceras y líquidos, intentando predecir el peso específico de cada componente mediante cálculos matemáticos. Para elaborar dicho modelo evaluó un total de 12 jóvenes entre 16 y 17 años que se encontraban en buen estado de salud, o por lo menos, el autor así los catalogó (Matiegka, 1921). En el estudio que se realizó en la ciudad de Praga en 1921, se argumentó que los componentes mencionados guardaban una relación con medidas antropométricas específicas (Matiegka, 1921); el autor afirmaba que de los pliegues cutáneos deriva la grasa y piel; de los perímetros de los miembros la masa muscular; de los diámetros de las articulaciones la masa ósea; y los tejidos que no se abarcaban en éstas categorías se los calculó por defecto y denominó remanentes. Su fórmula la realizó con una suma de variables que consideró relevantes al tejido que se intenta calcular, las elevó al cuadrado, y luego se multiplicó por la talla y un coeficiente de ajuste derivado de estudios cadavéricos (Matiegka, 1921). Si bien fue el primero en documentar un método racional y científico para la valoración de alguno de los componentes corporales, no incluyó la actividad física como variable a la hora de evaluar a los participantes del estudio, por lo tanto no sería fiable usar la ecuación para estimar masa muscular en deportistas; presenta un N (población) muy pequeña lo que condiciona que su población en la actualidad no presenta el mismo desarrollo evolutivo (Carvajal-Veitia, 2008); un rango de edad muy reducido (Alvero-Cruz, 2009); (Fernández-Vieitez, 2001); no se corrigieron los perímetros con sus respectivos pliegues (Matiegka, 1921), además de utilizar un protocolo que en la actualidad ya no se practica; por éstos factores se muestra como una fórmula poco sensible, las limitaciones en las formulas obligaron a otros autores a someterlas a estudios de validación, y quedó descartada por el posterior estudio de cadáveres (Withers, 1991).

En 1980 los autores Drinkwater y Ross intentaron mejorar el modelo propuesto por Matiegka (Withers, 1991), para ello utilizaron el modelo de referencia unisexuado humano llamado Phantom desarrollado por Ross y Wilson (Ross, 1974). Los autores tomaron datos antropométricos masculinos y femeninos obtenidos de la literatura y los

ajustaron geoméricamente a la altura, medias y desviaciones estándar específicas de phantom (Withers, 1991). De esta manera ajustaron las variables antropométricas a la altura del modelo Phantom, expresándolas mediante una puntuación Z. Calcularon una puntuación Z media para cada grupo de indicadores antropométricos que derivó en el cálculo de 4 compartimentos corporales comprendidos por el tejido esquelético, residual, grasa y músculo. Utilizaron la media y los desvíos estándar del Phantom para calcular un tejido hipotético, que luego se redimensionara a la altura del sujeto a evaluar, estimando la verdadera masa fraccionada (Withers, 1991). Estos autores plantean que cada uno de los 4 compartimentos derivan independientemente de la masa corporal, y el grado en que la suma de sus pesos se aproxime a la masa corporal total sirve como estimación de su validez. Las limitaciones que sus propios autores describen es que el Phantom es unisexuado, ignorando la variable de sexo, no teniendo en cuenta que la masa grasa y muscular por patrones específicos que son propios de cada sexo presentan diferencias respecto a su proporción y distribución (Withers, 1991). La ecuación quedó invalidada por el posterior estudio de cadáveres (Clarys, 1984).

En su intento por mejorar los trabajos que presentaba la literatura, el autor Alan Martin, en el año 1990 realiza un estudio utilizando ecuaciones de regresión para estimar la masa muscular (Martin, 1990). La ecuación que arrojó su estudio fue invalidada ya que sólo era extrapolable a ancianos belgas, quienes fueron los participantes del estudio; hecho que se explica por haber utilizado ecuaciones de regresión, cuya característica fundamental es que sus resultados son sólo representativos para la población de la muestra. Por lo tanto, aplicar dicha ecuación para evaluar deportistas no sería lo más recomendable, ya que se ha demostrado que la masa muscular estaría sobreestimada (Martin, 1990).

Con el objetivo de desarrollar una fórmula antropométrica de validación cruzada que estimara la masa muscular, el autor Lee junto a sus colaboradores (Lee, 2000), en septiembre del año 2000 realiza un estudio donde evaluó a 324 individuos que incluía obesos y no obesos, con edades comprendidas entre 20 y 81 años, de ambos sexos. Se diseñaron dos modelos de predicción basados en dimensiones antropométricas, los cuales fueron validados de forma cruzada mediante el uso de resonancia magnética nuclear (RMN). El primer modelo se basó conceptualmente en evaluar al cuerpo humano como una serie de cilindros, se evaluaron pliegues cutáneos, perímetros, estatura, entre otras variables. La fórmula desarrollada incluyó pliegues cutáneos y perímetros evaluados en las extremidades, llegando a un modelo final de gran validez presentando valores de r : 0.91 y SEE 2.2 kg (Lee, 2000). El segundo modelo predictivo incluyó otras medidas como el peso corporal, la talla, sexo, edad y raza, el cual también presentó buena predicción, con valores como r : 0.86 y SEE de 2.8 kg. Si bien un punto fuerte en los estudios de Lee fue comparar los resultados con los valores de RMN, considerada como gold standard para la estimación de masa muscular, presentando una elevada precisión, $r= 0,99$, y un bajo nivel de variabilidad, situado entre 2,1 y 6.5%, la decisión de no incluir sujetos que realizaran un plan de actividad física sistemático descarta la posibilidad de utilizar la fórmula en deportistas, además cabe recalcar que como todo método descriptivo de predicción la fórmula estudiada es específica de la población estudiada (Lee, 2000).

Poortmans.

En el año 2008, la ciudad de Bruselas fue sede de un estudio realizado por el autor Poortmans y colegas, con el objetivo de establecer un modelo de predicción de la masa muscular esquelética mediante antropometría, cuya validación se realizó con DEXA (Poortmans, 2005). La población evaluada incluyó un total de 56 sujetos con edades comprendidas entre 7 y 24 años, cuya población estaba compuesta por niños pre púberes de 7 a 9 años (10 niños y 8 niñas), adolescentes de 14 a 16 años (10 hombres y 8 mujeres) y adultos con edades comprendidas entre 20 y 24 años (10 hombres y 10 mujeres). Como criterios de inclusión se buscó que todos se encontraran sanos, no presentaran obesidad y no estuvieran involucrados en un programa de actividad física de alta intensidad (Poortmans, 2005). Los pliegues cutáneos fueron evaluados del lado izquierdo del cuerpo por medio de un plicómetro Harpender (British Indicators Ltd. St Albans, Reino Unido), mediante la metodología Lohman (Alvero-Cruz, 2009). Para los perímetros se utilizó una cinta métrica estándar flexible. Las medidas se realizaron por triplicado y se tomaron los valores medios de las mismas. Los resultados encontrados no presentaron diferencias significativas entre la masa muscular estimada mediante antropometría y la de referencia calculada por DEXA con valores $r^2 = 0,966$; y $p < 0,001$. Si bien se utilizó DEXA como Gold estándar para validar esta fórmula, quizás no sea una idea muy acertada ya que el método dexa presenta limitaciones a la hora de evaluar individuos con un peso inferior a 40 kg, descendiendo los niveles de fiabilidad a la hora de evaluar a la población infantil (Costa-Moreira, 2015), justamente un gran porcentaje de la población del estudio (Poortmans, 2005). Cabe recalcar también que como criterios de inclusión se buscó que todos los participantes estuvieran sanos, no presentaran índices de obesidad, y que no estuvieran involucrados en ningún programa de actividad física vigorosa, gran limitante si se quiere analizar a deportistas (Poortmans, 2005). Por estos factores detallados, y, al igual que los autores anteriores, dicha fórmula no sería la ideal para utilizar en la población deportista.

Por otro lado, y siguiendo las líneas de estudio para estimar la masa muscular, la Dra. Deborah Kerr en el año 1988 publica una nueva teoría que establece un fraccionamiento corporal en cinco componentes, basándose en la estrategia de proporcionalidad tomada del modelo Phantom, y desde la cual calcula las masas a partir de las desviaciones estándar de éste modelo; permitiendo una cuantificación total pero no regional de los tejidos (Kerr, 1988). La autora incluyó en su estudio a 1669 sujetos de ambos sexos, con edades entre 6 y 77 años con diferentes niveles de actividad física, aspecto determinante y quizás uno de los más destacados ya que al incluir la variable de entrenamiento, los resultados se podrían extrapolar y usarse en poblaciones deportistas. Las formulas diseñadas fueron capaces de predecir el peso con un error de estimación que podría considerarse bajo, sobreestimación de 1.3% en mujeres y 1.8% en hombres, aportando un coeficiente de correlación entre la masa corporal y la suma de pesos estructurados de 0.987 kg y un error de estimación de 3.0 kg (Kerr, 1988). En éste estudio se validó la formula mediante la disección cadavérica, decisión que implica una gran ventaja ya que se la considera como Gold standard en la determinación de la composición corporal (Kerr, 1988). Para la evaluación de las variables se siguió el protocolo de Ross, siendo actualmente la técnica más difundida a nivel mundial (Alvero-Cruz, 2009). Se incluyeron los datos acerca del perímetro corregido del brazo, del tórax, del muslo y de la pierna; y el perímetro del antebrazo (Kerr, 1988). Además de incluir a deportistas, otra ventaja que presenta la fórmula es la inclusión de perímetros corregidos del tronco, no limitándose

sólo a extremidades, y la utilización de la estrategia de proporcionalidad tomada del phantom (Clarys, 1984), algo que lo diferencia de las propuestas alternativas debido a que es la única que toma en consideración la proporcionalidad que presentan los segmentos corporales entre sí, algo que resulta esencial cuando se evalúan individuos que presentan estaturas diferentes, situación frecuente de ver en deportes de equipo como el rugby (Holway, 2009); o en el análisis de una población que se encuentra en pleno desarrollo como es el caso de niños y adolescentes (Kerr, 1988). Por todo lo expuesto la propuesta de Kerr se presenta como la más confiable si desea estar la masa corporal en deportistas.

Bioimpedancia.

La impedancia bioeléctrica o bioimpedancia es una técnica utilizada para estimar la composición corporal, en la cual se calcula el agua corporal total, masa grasa y masa libre de grasa. Los argumentos más sólidos de este método, se basan en el principio de la conductividad del agua, la cual se considera que varía a lo largo de los distintos compartimentos del cuerpo, de ésta manera, mide la impedancia (resistencia al paso) a una pequeña corriente eléctrica aplicada a medida que pasa a través del cuerpo (Lee S. , 2008). La resistencia al paso (o impedancia) arroja resultados diferentes de acuerdo al tejido por el cual esté atravesando, por lo tanto se puede deducir que la impedancia va a depender de la composición del compartimento que se esté evaluando; en línea con el criterio descrito anteriormente, la masa muscular presenta una excelente conductibilidad debido a su alto contenido de agua y electrolitos, mientras que no se podría aseverar lo mismo de la masa grasa, considerándose éste último como un mal conductor de energía eléctrica. Por lo tanto se puede afirmar que la impedancia es directamente proporcional a la cantidad de grasa corporal (Sant'anna, 2009). Los valores de impedancia se convierten luego en valores específicos para el agua corporal total o el líquido extracelular y luego, en masa libre de grasa por medio de ecuaciones que son específicas de la población. Una vez que se conoce la masa libre de grasa, la grasa corporal total se calcula como la diferencia entre el peso corporal y la masa libre de grasa. Sin embargo, se ha demostrado que los resultados de BIA se confunden con la retención de líquidos (Schols A. , 1991), las alteraciones hidrostáticas, y el uso de medicación diurética pueden afectar la validez de las mediciones de BIA en grupos de mayor edad (Haapala, 2002). Los cambios en el nivel de hidratación se han atribuido al proceso de envejecimiento, es decir, la reducción de la masa libre de grasa y el agua corporal total que se produce con la edad (Sun, 2003). Analizando los métodos utilizados por BIA que fueron validados para predecir la masa libre de grasa en individuos jóvenes, se encuentran resultados inconsistentes a la hora de abordar a poblaciones de distintas edades, como individuos de edad avanzada (Goran, 1994). Estudios como los de Visser y colegas (Visser, 1995) encontraron que las ecuaciones de predicción validadas para poblaciones jóvenes (Deurenberg, 1990), sobreestiman masa magra y subestiman el porcentaje de grasa corporal cuando se aplican a poblaciones mayores (ancianos de 60 a 87 años). Contrariamente a los resultados de los estudios anteriores, Roubenoff y colaboradores

(Roubenoff, 1997), sugieren que los errores de medición en BIA no se deben a la edad, sino a la población bajo análisis; en éste estudio compararon una ecuación BIA publicada en la literatura que fue validada para predecir la masa libre de grasa que se había obtenido en una población joven de edad media de 27 años, con ecuaciones que se desarrollaron para ancianos con una edad media 78 años. Cuando se aplicó la ecuación de población joven a los ancianos, provocó una sobreestimación de la masa libre de grasa. . Roubenoff y col. (1997) sugieren que el uso de BIA en poblaciones de ancianos requiere procedimientos de validación uniformes en la población de estudio real, en lugar de depender de ecuaciones específicas por edad.

Evaluación microscópica.

La hipertrofia del músculo esquelético se evaluó a nivel microestructural usando medidas de área de sección transversal y se analizó utilizando tinción histoquímica después de que las muestras se cortan y se unen a portaobjetos del microscopio. Esta técnica se ha utilizado para evaluar la estructura y el tamaño de las muestras de músculos desde finales del siglo XIX. Gunnar Nystrom, fue uno de los primeros en utilizar éstos métodos en la evaluación del tejido muscular en ratones al teñir la musculatura cardíaca con tinta china negra y examinar al microscopio óptico la estructura de las muestras. Si bien sus intereses en última instancia eran los túbulos transversales, también encontró bandas claras y oscuras (bandas isotrópicas y anisotrópicas), que se extienden a la distancia de cada sarcómero (Nystrom, 1897). Tiempo después, Morpurgo realiza sus trabajos, (ya mencionados), en donde observa el músculo sartorio de perros al microscopio óptico para examinar las secciones adheridas a los portaobjetos con especial interés en el cambio de sección del área transversal. La mayoría de los trabajos de evaluación de hipertrofia a nivel celular entre finales de siglo XIX y mediados del siglo XX utilizó modelos animales y, de manera similar a la actualidad, el corte de tejido muscular para su observación mediante microscopía. No fue hasta que en 1962 Bergstrom introdujo la aguja que dichos métodos se utilizaron más abiertamente en la investigación relacionada con la hipertrofia del músculo esquelético en humanos. El método utilizado por Bergstrom puede producir pesos de tejido que oscilan entre 25 y 300 mg. La obtención de biopsias musculares es segura, mínimamente invasiva y se puede realizar como un procedimiento ambulatorio utilizando la técnica de Bergstrom modificada (Shanely, 2014). Aunque es una evaluación sensible de la hipertrofia del músculo esquelético, también existen limitaciones en los cálculos de área de sección transversal, el método de procesamiento de tejido, la ubicación de la biopsia y los métodos de medición. Por ejemplo, es prácticamente imposible biopsiar dos veces la misma ubicación en un músculo, por lo que se supone que cualquier cambio de tamaño observado se extrapola a las fibras circundantes, o a las mismas fibras a lo largo de su longitud. El clima de un laboratorio y otros factores durante el procesamiento de tejidos pueden afectar las mediciones del tamaño de la fibra. Por ejemplo, dado que una célula muscular tiene aproximadamente un 70% de líquido, el procesamiento de los tejidos puede crear una variabilidad de la retención de agua en la muestra del músculo; y ésto podría alterar

potencialmente los hallazgos asumiendo procedimientos de procesamiento no estandarizados de una muestra o de un laboratorio al siguiente. La concentración de glucógeno muscular también podría afectar el área de sección transversal muscular, y ésta variable a menudo no se informa en los manuscritos que proporcionan mediciones de área de sección transversal. Además los músculos pueden hipertrofiarse de manera no uniforme (distal versus proximal), lo que no se detectaría con mediciones en un solo sitio (Narici, 1996). Además, una variedad de software de dimensionamiento de fibras y métodos de laboratorio descritos en la literatura publicada podrían afectar de manera diferencial los cálculos de cambio porcentual. Es común que los autores dediquen solo unas pocas oraciones a la descripción de cómo se dimensionan las fibras al capturar la imagen. Por ejemplo, algunos laboratorios seleccionan aleatoriamente de 25 a 50 fibras para el dimensionamiento manual, mientras que otros dimensionan 100 o más utilizando softwares especializados (Lau, 2018); (Wen, 2018). Desafortunadamente, ésto a menudo deja ausentes los procedimientos de calibración específicos, la divulgación del protocolo de capacitación utilizado por el evaluador, y el software o la técnica específica utilizada para calcular el área de sección transversal.

Evaluación molecular

La evaluación molecular que coincide con la hipertrofia del músculo esquelético en respuesta al entrenamiento de sobrecarga ha sido poco estudiada, pero se puede inferir analizando los cambios en las subfracciones de proteínas dentro del tejido biopsiado, mediante protocolos de centrifugación diferencial seguidos de ensayos bioquímicos simples (por ejemplo Bradford), electroforesis en gel de poliacrilamida o evaluaciones proteómicas a gran escala. Si bien en la teoría estos métodos parecen simples, en la práctica se dificulta a la hora de emplearlos en los laboratorios. La medición de las miofibrillas del músculo esquelético se remonta al menos hasta 1957 cuando Hanson y Huxley en 1957 (Hanson, 1957), utilizaron técnicas de extracción, solubilización y separación en gel de poliacrilamida para cuantificar las concentraciones de miosina y actina. Estudios más recientes han utilizado varios métodos para determinar como el entrenamiento de fuerza afecta las concentraciones de proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas, y dado que los métodos de evaluación han sido inconsistentes, se produjeron hallazgos diferentes. Por ejemplo, Shelmadine y colaboradores (Shelmadine, 2009), informaron aumentos de 50 % en la concentración de proteínas miofibrilares después de 28 días de entrenamiento de fuerza. Otros estudios como los de Willoughby y Rosene en 2001 (Willoughby, 2001) de manera similar informaron aumentos de 40 % en la concentración de proteína miofibrilar después de 12 semanas de entrenamiento de fuerza, y también reportaron aumentos de 85% en la concentración de proteína miofibrilar 6 horas después de una sola sesión de entrenamiento de fuerza (Nelson, 2002). Por su parte, Cribb y colaboradores (Cribb, 2007), han informado aumentos similares en la concentración de proteínas miofibrilares después de 10 semanas de entrenamiento de fuerza en dos estudios separados. Sin embargo, un número comparativamente **mayor** de autores no ha informado ninguna alteración en la concentración de proteínas o una aparente disminución en respuesta al entrenamiento de fuerza. Por ejemplo, Brook y colaboradores (Brook, 2015), no informaron cambios significativos en la concentración de proteína soluble total después de 6 semanas de entrenamiento de fuerza. Haus y colaboradores (Haus, Contractile and connective tissue...and exercise countermeasures, 2007), no informaron cambios significativos en la concentración de proteínas miofibrilares, sarcoplásmica, miosina o actina después de 35 o 90 días de entrenamiento

de fuerza 2 a 3 días por semana. Al interpretar dichos estudios, los aumentos en el tamaño de las miofibras sin cambios en la concentración de proteínas miofibrilares indicarían que el crecimiento celular ocurre con aumentos proporcionales en la acumulación de proteínas miofibrilares. Es decir, la estequiometría de la célula muscular se conservaría mayoritariamente en este caso. Por el contrario, los aumentos en el tamaño de las miofibras con una disminución en la concentración de proteínas miofibrilares indicarían que el conjunto de proteínas se está diluyendo mediante aumentos en la fracción intracelular u otros componentes sarcoplásmicos. Como se mencionó anteriormente, algunos estudios selectos han sugerido curiosamente que el entrenamiento de fuerza aumenta de manera contundente las concentraciones de proteínas miofibrilares, lo que indicaría que se produce un empaquetamiento miofibrilar importante durante las primeras semanas-meses de entrenamiento. Dicho de otra forma, tales hallazgos sugieren que la acumulación de proteínas de miofibrillas supera con creces el crecimiento celular. Por lo tanto, estos informes sobre las adaptaciones moleculares y estructurales del entrenamiento de fuerza son inconsistentes. Más allá de las alteraciones en las proteínas contráctiles y sarcoplásmicas, los cambios potenciales de fluidos son un aspecto molecular comúnmente subestimado de la adaptación del músculo esquelético al entrenamiento de fuerza. Solo unas pocas investigaciones en humanos han informado alteraciones en los pesos húmedos y secos después de un periodo de entrenamiento físico. Por ejemplo, Reidy y colaboradores (Reidy, Post-absorptive...training hypertrophy, 2017), informaron aumentos significativos en el contenido de líquido del tejido muscular y área de sección transversal después de 12 semanas de entrenamiento de fuerza, pero ningún cambio significativo en la concentración de proteínas. Mora Rodríguez y colaboradores (Mora-Rodriguez, 2016), también informaron aumentos significativos en el contenido de agua de la muestra de músculo esquelético, pero disminuciones significativas en la concentración de proteína total después de 4 meses de entrenamiento con ejercicios aeróbicos. Dada la influencia potencial que el volumen de líquido puede ejercer sobre las mediciones de área de sección transversal utilizadas para suponer la hipertrofia después de una intervención de ejercicio, parece fundamental que se tenga en cuenta el contenido de agua al analizar la hipertrofia microscópica y a nivel molecular.

3.11 Propuestas para futuras investigaciones en la temática.

Si bien la comparación directa de diferentes métodos de evaluación hipertrófica es escasa, hay datos que sugieren que los índices macroscópicos, microscópicos, ultramicroscópicos y bioquímicos de hipertrofia del músculo esquelético después del entrenamiento de fuerza, tienen poca concordancia. Un estudio reciente demuestra mejor esta afirmación, Franchi y colaboradores observaron que, mientras que los aumentos porcentuales en el grosor del músculo vasto lateral (VL) evaluado por ultrasonido y el área de sección transversal derivado de la resonancia magnética mostraron fuertes correlaciones después de 12 semanas de entrenamiento de fuerza de los extensores de la pierna ($R = 0,69$), los hallazgos de la ecografía se asociaron pobremente con los resultados de volumen muscular ($R = 0,33$); (Franchi, 2018). El método DEXA está altamente correlacionado con las medidas MRI y CT del área muscular cuando se evalúa en un sólo punto en el tiempo (Levine, 2000); (Maden-Wilkinson, 2013). Sin embargo, DEXA muestra sólo una correlación moderada con la TC ($R = 0,52$) cuando se evalúan los cambios en la masa muscular después del entrenamiento de fuerza reglamentado, y su alto error de medición plantea preguntas sobre la idoneidad para determinar cambios sutiles en la masa muscular durante el transcurso de un protocolo de entrenamiento (Delmonico, 2008). De acuerdo

con esta hipótesis, Snijders y colaboradores (Snijders, 2015), informaron aumentos estadísticamente mayores en el área de sección transversal del muslo evaluado por resonancia magnética en un grupo suplementado con proteínas vs placebo, después de un programa de entrenamiento de fuerza de 12 semanas, sin embargo, la masa magra de las extremidades inferiores medida por DEXA no mostró cambios estadísticamente significativos antes y después del estudio. También existen diferencias al comparar el grado de hipertrofia entre las mediciones de área de sección transversal de la resonancia magnética y la biopsia. Por ejemplo, Narici y colaboradores (Narici, 1996), informaron un aumento del 2 % en el área del vasto lateral, pero un aumento del 7 % en el vasto lateral medido por resonancia magnética después de 6 meses de entrenamiento de fuerza. Estos autores informaron que existían diferencias al comparar cualquiera de esas dos medidas con las medidas de los cuádriceps completo, que aumentaron en un 15 %. Otro estudio como el de Aagaard (Aagaard, 2001) en el que compararon los cambios en el músculo vasto lateral mediante resonancia magnética, biopsia y ultrasonido después de 14 semanas de entrenamiento de fuerza. Los autores informaron un aumento del 16 % en la fracción de área de sección transversal, pero sólo un aumento de 10 % en el volumen muscular. Además, existió una relación positiva entre el cambio en la fracción de área de sección transversal y área de sección transversal evaluado mediante resonancia magnética, aunque ésta correlación fue sólo moderada ($R = 0,58$). Estudios más recientes (Haun, 2018), realizaron trabajos sobre los 10 mejores respondedores a la hipertrofia en 6 semanas de entrenamiento de fuerza de alto volumen, y experimentaron un aumento del 23 % en la fracción de área transversal del vasto lateral derecho. La masa magra de las extremidades evaluada por DXA sólo aumento en un 8,8 % y el grosor de la mitad del muslo evaluado mediante ultrasonido sólo aumento en un 2,1 %. Al asociar adaptaciones ultraestructurales e histológicas al entrenamiento de fuerza, no hay una relación clara, de todas formas es importante aclarar que muchos de los hallazgos supuestamente discrepantes comparados anteriormente, se originan a partir de diferentes métodos. . Una de las posibles soluciones puede ser combinar métodos como la antropometría y bioimpedancia, por considerarse los métodos más usados en la práctica diaria, ya que por su fácil acceso y portabilidad permite evaluar a grandes cantidades de poblaciones deportistas. Se requieren estudios rigurosos porque se trata de combinar dos métodos distintos, pero se presenta como una alternativa prometedora a futuro.

4. CONCLUSION.

El repaso de la literatura científica da cuenta de que no existe una definición esencial o perfecta cuando se habla de hipertrofia. Tampoco se puede ser taxativo a la hora de abordar el tema, ya que va a depender de lo que se quiera evaluar en particular en el músculo; la evidencia que haya leído el investigador, así como también las técnicas de medición y las dimensiones del músculo que pueden aportar las mismas. Una posible solución es adoptar posturas o definiciones de autores que se relacionen con nuestro tema de interés. Adoptando más bien una definición operativa y pensando en el término como un concepto, para los fines de ésta revisión se puede retomar la definición del autor Brad Schoenfeld; por considerarlo uno de los autores que actualmente más investiga en la temática e hizo los mayores aportes en investigación. Además es uno de los autores que más consenso y aceptación tiene en el mundo deportivo. Una vez adoptado el punto de partida, elegir el método para evaluar la dimensión del músculo que el instrumento nos permita. Otro punto a destacar, es que no se presenta un protocolo claro a seguir a la hora de realizar las mediciones; situación que deja la posibilidad abierta a cometer muchos

errores ya que son muchas las variables a controlar para realizar un estudio. Sólo por citar algunos factores que pueden influir en las evaluaciones, se pueden nombrar el estado de hidratación, la suplementación, alimentación, horas de sueño, entrenado o desentrenado, la edad, ausencia de enfermedades, control estricto de la carga de entrenamiento, los músculos a evaluar. Los enunciados anteriores son las limitaciones en general que se encuentran en los estudios revisados, y de un total de 7.410 sujetos evaluados en la literatura con los más diversos métodos. No son del todo claro en dichos aspectos, o si lo son, es poca la evidencia como para considerarla significativa. Un punto fuerte de las investigaciones futuras podría ser tratar de igualar las condiciones antes mencionadas. Por ahora sólo queda ajustarse a los protocolos de evaluación de los instrumentos con los que se va a medir. La evidente ausencia de un método patrón o referencia para medir la hipertrofia del músculo, se suma a los factores desalentadores mencionados anteriormente. Ya que al no contar con referencia o Gold standard, no se permite que las investigaciones sean confiables ni comparables entre sí. Son innumerables las variables que se pueden combinar para sacar conclusiones con respecto a los métodos, pero así también cometer errores al comparar cosas que no son comparables entre sí. Afirmando las primeras hipótesis del presente trabajo. Los distintos autores a lo largo de los años de investigación iniciaron sus estudios en animales y luego en humanos, si bien la medición en músculos de seres humanos permitió obtener gran cantidad de datos y conocer en profundidad el tejido; todavía queda muchísimo trabajo por realizar en las poblaciones deportistas. Porque es escasa la información con la que se cuenta actualmente, la mayoría de los estudios hablan de adaptaciones agudas o poblaciones físicamente activas; datos que no serían recomendables extrapolar a deportistas confirmando la hipótesis final.

5. BIBLIOGRAFIA

- Anatomical and biochemical adaptations of muscle to different exercises. (1967). *Journal of the American Medical Association*, 755–758.
- Aagaard. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J. Physiol.*
- Ackland. (2012). Current Status of Body Composition Assessment in Sport. *Sport Medicine*, 227-49.
- Adkins. (2017). Adkins. *Demonstration of extended field-of-view ultrasound's potential to increase the pool of muscles for which in vivo fascicle length is measurable.*
- Alvero-Cruz. (2009). *Protocolo de valoración de la composición corporal para el reconocimiento medicodeportivo.* Arch Med del Deport.
- Alway. (1988). Functional and structural adaptations in skeletal muscle of trained athletes. *J. Appl. Physiol.*
- Antonio, J. (2000). Nonuniform response of skeletal muscle to heavy resistance training: Can bodybuilders induce regional muscle hypertrophy? *J Strength Cond Res.*
- Barber. (2009). Validation of a freehand 3D ultrasound system for morphological measures of the medial gastrocnemius muscle. *J. Biomech.*
- Bompa. (1991). *Análisis de las características de los deportes.* Paidotribo.
- Bompa, T. (2010). *Musculacion. Entrenamiento avanzado.* Hispano Europea.
- Brook. (2015). Skeletal muscle hypertrophy adaptations predominate in the early stages of resistance exercise training, matching deuterium oxide-derived measures of muscle protein synthesis and mechanistic target of rapamycin complex 1 signaling. *FASEB J.*
- Carter. (1982). *Body composition of Montreal Olympic athletes.* Basel, Suiza: Karger.
- Carvajal-Veitia. (2008). Tendencia secular en deportistas cubanos de alto rendimiento: periodo 1976-2008. *Rev Esp Fis*, 71–9.
- Carvajal-Veitia. (2008). Validez del Método Antropométrico de Ross y Kerr (1988) en Población Deportiva De uno u Otro Sexo Experiencia Cubana Durante el Ciclo Olímpico 1996-2000. *Publice Stand*, 1-16.
- Chamorro. (2005). Comparación de las fórmulas de Lee y Martin para el cálculo de la masa muscular de 3125 deportistas de alto nivel. *Revista Digital - Buenos Aires*, 10 (82).
- Clarys. (1984). Gross Tissue Weights in the Human Body By Cadaver Dissection. *Hum Biol*, 459–73.
- Correa-Rodríguez. (2014). Los niveles de mineralización ósea están influenciados por la composición corporal en niños y adolescentes. *Nutr Hosp*, 763–8.
- Costa-Moreira. (2015). Métodos de evaluación de la composición corporal : una revisión actualizada de descripción , aplicación , ventajas y desventajas. *Arch Med Deport.*, 387-94.

- Cribb. (2007). A creatine-protein-carbohydrate supplement enhances responses to resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.*
- Dankhe. (1986). *Vera carrasco*. Recuperado el 2009
- Dankhe. (2009). <http://www.scielo.org.bo>.
- DeFreitas. (2010). A comparison of techniques for estimating training-induced changes in muscle cross-sectional area. *J. Strength Cond. Res.*
- Delmonico, M. J. (2008). Can dual energy X-ray absorptiometry provide a valid assessment of changes in thigh muscle mass with strength training in older adults? *European Journal of Clinical Nutrition* .
- Deurenberg, P. (1990). Assessment of body composition by bioelectrical impedance in a population aged > 60 y. *Am J Clin Nutr.*
- Deutsch, K. &. (2007). Time – motion analysis of professional rugby union players during match-play. *Journal of Sports Sciences.*
- Douda. (2008). Physiological and anthropometric determinants of rhythmic gymnastics performance. *Int J Sports Physiol Perform*, 41-54.
- Dunford. (2018). *Sports Nutrition. A Handbook for Professionals*. Karpinski C, Rosenbloom CA, editors.
- Eklblom. (2017). The muscle biopsy technique. Historical and methodological considerations. *Scand. J. Med. Sci. Sports* .
- Erlandson. (2016). Muscle analysis using pQCT, DXA and MRI. *Eur. J. Radiol.* .
- Eston. (2018). *Kinanthropometry and Exercise Physiology: Volume One: Anthropometry*. Routledge.
- Falces. (2016). ¿Es La Composición Corporal Un Buen Predictor De Rendimiento Y Salud En Fútbol? *Revista Prep en el Fútbol.*, 1-11.
- Fernández-Vieitez. (2001). Estimación de la masa muscular por diferentes ecuaciones antropométricas en levantadores de pesas de alto nivel. *Arch Med del Deport*, 585–91.
- Franchi. (2018). Muscle architecture assessment: strengths, shortcomings and new frontiers of in vivo imaging techniques. *Ultrasound Med. Biol.*
- Gallagher. (2005). Task-specific design of skeletal muscle: balancing muscle structural composition. *Comparative Biochemistry and Physiology B*, 35–40.
- Gasser. (1995). *Assessing bone quantity by pQCT*. Obtenido de elsevier.
- Glickman, S. G. (2004). Validity and reliability of dual-energy X-ray absorptiometry for the assessment of abdominal adiposity. *Journal of Applied Physiology*.
- Goldspink. (1964). The combined effects of exercise and reduced food intake on skeletal muscle fibers. *J. Cell. Comp. Physiol.*
- Gollnick. (1972). Diet, exercise, and glycogen changes in human muscle fibers. *J. Appl. Physiol.*

- Gonzalez-Freire. (2017). The human skeletal muscle...of the current literature. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 5–18.
- Goran, M. (1994). Comparison of body fat estimates derived from underwater weight and total body water. *Int J Obes Relat Metab Disord*.
- Gordon. (1967). Adaptations of muscle to various exercises. *Journal of the American Medical Association*, 130.
- Gordon. (1967). Adaptations of muscle to various exercises. Studies in rats. *JAMA*.
- Greaser, Y. y. (1983). Quantitative determination... skeletal muscle. *Journal of Molecular Biology*, 1722–1727.
- Haapala, I. (2002). Anthropometry, bioelectrical impedance and dual-energy X-ray absorptiometry in the assessment of body composition in elderly Finnish women. *Clin Physiol Funct Imaging*.
- Handayaningsih. (2011). Reactive oxygen species play an essential role in IGF-I signaling and IGF-I-induced myocyte hypertrophy in C2C12 myocytes. *Endocrinology*.
- Hanson. (1957). Quantitative studies on the structure of cross-striated myofibrils. II. Investigations by biochemical techniques. *Biochim. Biophys*.
- Haun. (2018). Effects of graded whey supplementation during extreme-volume resistance training. *Front. Nutr*.
- Haun, C. T. (12 de marzo de 2019). A Critical Evaluation of the Biological Construct Skeletal Muscle Hypertrophy: Size Matters but So Does the Measurement. *Frontiers in physiology*. Obtenido de www.frontiers.org
- Haus. (2007). Contractile and connective tissue...and exercise countermeasures. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol*.
- Helander. (1961). Influence of exercise and restricted activity on the protein composition of skeletal muscle. *Biochemistry Journal*.
- Hellerstein. (2017). Recent advances for measurement of protein synthesis rates, use of the 'Virtual Biopsy' approach, and measurement of muscle mass. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*.
- Henneberg M, U. S. (2010). Body frame dimensions are related to obesity and fatness: Lean trunk size, skinfolds, and body mass index. . *Am J Hum Biol*.
- Heymsfield. (2014). Assessing skeletal muscle mass: historical overview and state of the art. *J. Cachexia Sarcopenia Muscle*.
- Hikida. (2000). Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci*.
- Holway. (2009). Kinanthropometry of group I rugby players in Buenos Aires, Argentina. *Journal of Sports Science*.
- Holway. (2014). Composicion corporal en nutricion deportiva. En Holway, *Principios basicos de nutricion en el deporte*. Obtenido de Composicion corporal en nutricion deportiva.

- Hounsfield. (1973). Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system. *Br. J. Radiol.*
- Ingalls. (1998). Dissociation of force production from MHC and actin contents in muscles injured by eccentric contractions. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*, 215–224.
- Jiménez, O. (2011). El entrenamiento con pesas mejora la sensibilidad a la insulina y los niveles plasmáticos de lípidos, sin alterar la composición corporal en sujetos con sobrepeso y obesidad. *Revista endocrinología y nutrición*, 170–4.
- Kaul, S. (2012). Dual-Energy X-Ray Absorptiometry for Quantification of Visceral Fat. *Obesity a research Journal*.
- Kazarez. (2018). Perception and distortion of body image in Spanish women dancers based on academic year and age. . *Nutrición Hospitalaria*, 661-8.
- Kefaloyianni. (2006). ERK1/2 and p38-MAPK signalling pathways, through MSK1, are involved in NF-kappaB transactivation during oxidative stress in skeletal myoblasts. *Cell Signal*.
- Kephart. (2016). Ten weeks of branched-chain amino acid supplementation improves select performance and immunological variables in trained cyclists. *Amino Acids*.
- Kerr, D. (abril de 1988). Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science. *An anthropometric method for fractionation of skin, adipose, bone, muscle and residual tissue masses, in males and females age 6 to 77 years*.
- Kjaer. (2004). Role of extracellular matrix... loading. *Journal of the American Medical Association*, 649–698.
- Koh. (2009). *Do inflammatory cells influence skeletal muscle hypertrophy?* Front Biosci. (Elite Ed.) .
- Laboratori d'Estadística aplicada. (2014). www.metodo.uab.cat. Recuperado el 30 de mayo de 2014, de www.metodo.uab.cat
- Lacerda, L. (2020). Is Performing Repetitions to Failure Less Important Than Volume for Muscle Hypertrophy and Strength. *The Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Larson. (1982). Muscle hypertrophy in bodybuilders. *European Journal of applied Physiology*, 301–306.
- Larsson. (1986). Motor unit fibre density in extremely hypertrophied skeletal muscles in man. Electrophysiological signs of muscle fibre hyperplasia. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*
- Lau. (2018). Automated muscle histopathology analysis using CellProfiler. *Skelet Muscle*.
- LeBlanc. (2000). Muscle volume, MRI relaxation times (T2), and body composition after spaceflight. *J. Appl. Physiol.*
- Lee. (2000). Total-body skeletal muscle mass: Development and cross-validation of anthropometric prediction models. *Am J Clin Nutr*, 796-803.
- Lee, S. (2008). Assessment methods in human body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*.

- Levine. (2000). Measuring leg muscle and fat mass in humans: comparison of CT and dual-energy X-ray absorptiometry. *J. Appl. Physiol.*
- Lindstedt. (1998). Task-specific design of skeletal muscle: balancing muscle structural composition. . *Comparative Biochemistry and Physiology B.*
- Lloyd. (2013). The regulation of cell size. *Journal of Cellular Physiology*, 1194–1205.
- Loon, V. (2003). Intramyocellular lipids form...in a fasted state. *The Journal of Physiology*, 611–625.
- Lopez-Fontana. (2003). Obesidad, metabolismo energetico y medida de la actividad fisica. *Revista española de obesidad*, 29-36.
- Lukaski. (1993). Soft Tissue Composition and Bone Mineral Status: Evaluation by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. *Symp Aging body Compos*, 438–43.
- Lukaski. (1997). Sarcopenia: Assessment of Muscle Mass. *The Journal of Nutrition.*
- Lustgarten, M. (2011). Assessment of analytical methods used to measure changes in body composition in the elderly and recommendations for their use in phase II clinical trials. *The Journal of Nutrition, health and aging.*
- Luthi. (1986). Structural changes in skeletal muscle tissue with heavy-resistance exercise. *Int. J. Sports Med.*
- Maden-Wilkinson. (2013). Comparison of MRI and DXA to measure muscle size and age-related atrophy in thigh muscles. *J. Musculoskelet. Neuronal Interact.*
- Malina. (2009). Ethnicity and biological maturation in sports medicine research. *Scand J Med Sci Sports.*
- Martin. (1990). Anthropometric estimation of muscle mass in men. *Med Sci Sports Exerc*, 729–33.
- Martinez, E. G. (2010). Composicion corporal: Su importancia en la práctica clínica y algunas técnicas relativamente sencillas para su evaluación. *Endocrinología y nutricion*, 98-116.
- Matiegka, J. (1921). The testing of physical efficiency. *Am J Phys Anthropol*, 223–30.
- Mobley. (2017). Effects of whey ... in college-aged males. *Nutrients.*
- Mobley. (2018). Biomarkers associated with low, moderate, and high vastus lateralis muscle hypertrophy following 12 weeks of resistance training. *PLoS One* .
- Moore. (2015). *Clinical Sports Nutrition*. 5th ed. North Ryde.
- Mora-Rodriguez. (2016). Aerobic exercise training increases muscle water content in obese middle-age men. *Med. Sci. Sports Exerc.*
- Morpurgo. (1897). *Arch. Path. Anat. Physiol.*
- Morpurgo. (1897). *Frontiers in physiology.*
- Mozaffari. (2017). Freehand 3-D ultrasound imaging: a systematic review. *Ultrasound Med. Biol.*

- Mudd. (2007). Bone Mineral Density in Collegiate Female Athletes : Comparisons Among Sports. *J Athl Train*, 403-8.
- Nana. (2015). Methodology review: using dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) for the assessment of body composition in athletes and active people. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*
- Narici. (1996). Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiol. Scand.*
- Nelson, W. y. (2002). Myosin heavy-chain mRNA expression after a single session of heavy-resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*
- Noorkoiv. (2010). Assessment of quadriceps muscle cross-sectional area by ultrasound extended-field-of-view imaging. *Eur. J. Appl. Physiol.*
- Nosaka. (2003). Muscle damage in resistance training: Is muscle damage necessary for strength gain and muscle hypertrophy? *IJSHS.*
- Nystrom. (1897). Ueber die lymphbahnen des herzens. *Arch. Anat. Physiol.*
- Óscar Hernán Jiménez, R. R.-V. (2011). *elsevier.*
- Penman. (1969). Ultrastructural changes in human striated muscle using three methods of training. *Res. Q.*
- Penman. (1970). Human striated muscle...hypertrophy. *Res. Q.*
- Petrella. (2008). Potent myofiber hypertrophy during resistance training in humans is associated with satellite cell-mediated myonuclear addition: a cluster analysis. *J. Appl. Physiol.*
- Pietrobelli, A. (1996). Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *American Journal of Physiology* .
- Plank, L. (2005). Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care.*
- Poortmans. (2005). Estimation of Total-Body Skeletal Muscle Mass in Children and Adolescents. *Med Sci Sports Exerc*, 316-22.
- Prado. (2014). Lean tissue imaging: a new era for nutritional assessment and intervention. *J. Parenter. Enteral Nutr.*
- Proske. (2001). Muscle damage from eccentric exercise: Mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol.*
- R, R.-V. (2011). *elsevier.*
- Ramirez-Velez. (abril de 2011). El entrenamiento con pesas mejora la sensibilidad a la insulina y los niveles plasmáticos de lípidos, sin alterar la composición corporal en sujetos con sobrepeso y obesidad . *Revista de endocrinología y nutrición*, 169-174 .
- Rana. (2013). 3D fascicle orientations in triceps surae. *J. Appl. Physiol.*
- Reidy. (2017). Post-absorptive...training hypertrophy. *Eur. J. Appl. Physiol.*

- Reidy. (2017). Protein supplementation does not affect myogenic adaptations to resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.*
- Rexach. (2006). Consecuencias clínicas de la sarcopenia. *Nutr Hop*, 46–50.
- Riley. (2000). Decreased thin filament density and length in human atrophic soleus muscle fibers after spaceflight. *J. Appl. Physiol.*
- Rocha. (1975). Peso óseo do brasileiro de ambos os sexos de 17 a 25 años. *Arq Anat Antropol*, 445-51.
- Romero-Quintero. (2011). El perfil antropométrico de la gimnasia rítmica. *Apuntes Educacion Física y Deportes*, 48-55.
- Rosenthal. (2002). Different modes of hypertrophy in skeletal muscle fibers. *Journal of Cell Biology*, 751–760.
- Rosenthal, P. y. (2002).
- Ross. (1974). A stratagem for proportional growth assessment. *Acta Paediatr Belg*, 169-82.
- Roubenoff, R. (1997). Application of bioelectrical impedance analysis to elderly populations. *J Gerontol*.
- Ruseel. (12 de marzo de 2019). *Frontiers in physiology*.
- Russel. (2000). *Frontiers in physiology*.
- Sale. (1987). Voluntary strength and muscle characteristics in untrained men and women and male bodybuilders. *J. Appl. Physiol.*
- Sant'anna. (2009). Métodos de avaliação da composição corporal em crianças. *Rev Paul Pediatr*.
- Schoenfeld. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 2857–2872.
- Schoenfeld. (2020). *Science...of muscle hypertrophy*. tutor.
- Schoenfeld, B. J. (2016). *Ciencia y Desarrollo de la Hipertrofia Muscular*. Tutor.
- Schols. (1991). . Body composition by bioelectrical-impedance analysis compared with deuterium dilution and skinfold anthropometry in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Clin Nutr*, 421–424.
- Scott. (2012). Reliability and validity... quantification. *Ultrasound Med. Biol.*
- Scott. (2017). Panoramic ultrasound: a novel and valid tool for monitoring change in muscle mass. *J. Cachexia Sarcopenia Muscle* .
- Seiden. (1976). Quantitative analysis of muscle cell changes in compensatory hypertrophy and work-induced hypertrophy. *Am. J. Anat.*
- Sellés-Pérez. (2019). Efecto de la distribución de intensidad del entrenamiento sobre la composición corporal en triatletas amateur. *Rev Andaluza Med del Deport.* .
- Shanely. (2014). Human skeletal muscle biopsy procedures using the modified Bergstrom technique. *J. Vis. Exp.*

- Shelmadine. (2009). Shelmadine. *Effects of 28 days of resistance exercise and consuming a commercially available pre-workout supplement, NO-Shotgun(R), on body composition, muscle strength and mass, markers of satellite cell activation, and clinical safety markers in males.*
- Sherk. (2014). Associations between pQCT-based fat and muscle area and density and DXA-based total and leg soft tissue mass in healthy women and men. *J. Musculoskeletal Neuronal Interact.*
- Shuster. (2012). The clinical importance of visceral adiposity: a critical review of methods for visceral adipose tissue analysis. *The Journal of Nutrition.*
- Shypailo, R. J. (2008). DXA: Can It Be Used as a Criterion Reference for Body Fat Measurements in Children? *Obesity a research journal.*
- Slater. (2019). Is an Energy Surplus Required to Maximize Skeletal Muscle Hypertrophy Associated With Resistance Training. *Frontiers in nutrition.*
- Smeulders. (2010). Reliability of in vivo determination of forearm muscle volume using 3.0 T magnetic resonance imaging. *J. Magn. Reson. Imaging.*
- Snijders. (2015). Protein ingestion before sleep increases muscle mass and strength gains during prolonged resistance-type exercise training in healthy young men. *J. Nutr.*
- Staron. (1984). Human skeletal muscle fiber type adaptability to various workloads. *J. Histochem. Cytochem.*
- Staron. (1990). Muscle hypertrophy... resistance-trained women. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*
- Staron. (1991). Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *J. Appl. Physiol.*
- Sun, S. (2003). Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. *Am J Clin Nutr.*
- Tesch. (s.f.). Muscle capillary supply and fiber type characteristics in weight and power lifters. *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.*
- Thibault. (2012). Body composition: why, when and for who? *Clinical Nutrition.*
- Thoirs. (2009). Ultrasound measures of muscle thickness: intra-examiner reliability and influence of body position. *Clin. Physiol. Funct. Imaging.*
- Torres-Navarro. (2017). Error de la fórmula de Rocha para predecir la masa ósea en deportes con impacto y sin impacto. *VI Congreso Mundial del Deporte en Edad Escolar, Educación Física y Psicomotricidad.*
- Toth. (2012). Resistance training alters skeletal muscle structure and function in human heart failure: effects at the tissue, cellular and molecular levels. *J. Physiol.*
- Verdijk. (2009). Skeletal muscle hypertrophy following resistance training is accompanied by a fiber type-specific increase in satellite cell content in elderly men. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.*

- Vigotsky. (2018). Methods matter: the relationship between strength and hypertrophy depends on methods of measurement and analysis. *PeerJ* .
- Visser. (1995). Multi-frequency bioelectrical impedance for assessing total body water and extracellular water in elderly subjects. *Eur J Clin Nutr.*
- Wang. (1982). Purification of titin and nebulin. *Methods in Enzymology* , 264–274.
- Wang. (1993). Muscle fiber...and enzyme activity. *Pflugers Arch.*
- Wen. (2018). MyoVision: software for automated high-content analysis of skeletal muscle immunohistochemistry. *J. Appl. Physiol.*
- Willoughby. (2001). Effects of oral creatine and resistance training on myosin heavy chain expression. *Med. Sci. Sports Exerc.*
- Withers. (1991). The Drinkwater - Ross anthropometric fractionation of body mass : Comparison with measured body mass and densitometrically estimated fat and fat - free masses. *J Sports Sci*, 299-311.
- Zanou. (2013). Skeletal muscle hypertrophy and regeneration: Interplay between the myogenic regulatory factors (MRFs) and insulin-like growth factors (IGFs) pathways. *Cell Mol Life Sci.*
- Zou. (2011). The alpha(7)beta(1)-integrin increases muscle hypertrophy following multiple bouts of eccentric exercise. *J Appl Physiol.*