



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE DEPORTES CAMPUS ENSENADA

**IMPACTO DE UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO CONCURRENTE SOBRE LA
POTENCIA MUSCULAR EN MIEMBROS INFERIORES EN ADULTOS MAYORES SANOS**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIADO EN ACTIVIDAD FÍSICA Y
DEPORTE**

PRESENTA:

C. INTI IVAN MEZA TAMAYO

DIRECTOR: DR. ALBERTO JIMÉNEZ MALDONADO

CODIRECTOR: DR. IVÁN RENTERÍA



Universidad Autónoma
de Baja California

FACULTAD DE DEPORTES CAMPUS ENSENADA

**Impacto de un Programa de Entrenamiento Concurrente sobre la
Potencia Muscular en Miembros Superiores en Adultos Mayores**

Tesis

Para cubrir los requisitos necesarios para obtener el título de

Licenciado en Actividad Física y Deporte

Presenta

C. Inti Iván Meza Tamayo

Aprobada por:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE DEPORTES
ENSENADA B.C.

Dr. Alberto Jiménez Maldonado

Director

Dr. Iván Rentería

Co-Director

Dr. Juan Pablo Machado Parra

Sinodal

M.C. Ermilo Canton Martínez

Sinodal

Índice

Resumen	1
Abstract	2
1. Introducción	3
1.1 Procesos y teorías del envejecimiento	3
1.2 Impacto del envejecimiento en la masa y fuerza muscular	5
2. <i>Antecedentes</i>	8
2.1 Potencia muscular y factores que regulan su manifestación	8
2.1.1 Factores internos	8
2.1.2 Factores externos	11
2.2 Guías del entrenamiento para el desarrollo de potencia muscular	16
3. Justificación	18
4. Pregunta de investigación	18
5. Hipótesis	18
6. Objetivos generales	19
7. Objetivos específicos	19
8. Metodología	19
8.1 <i>Diseño experimental</i>	19
8.2 Participantes	19
8.3 Criterios de inclusión y exclusión	19
8.4 Procedimientos	20
8.5 Evaluaciones	20
8.5.1 Evaluaciones antropométricas	20
8.5.2 Evaluación de la potencia y fuerza de miembros inferiores	20
8.5.3. Programa de entrenamiento concurrente	22
8.6 Análisis estadístico	23
9. Resultados	23
10. Discusión	27
11. Conclusión	29
12. Referencias	29

Resumen

Introducción: La potencia muscular es una cualidad física que se deteriora considerablemente con la edad, paradójicamente, existen pocos estudios enfocados a identificar el impacto y la respuesta de la potencia muscular ante protocolos de ejercicio físico en el adulto mayor. El objetivo principal de la presente tesis fue determinar el impacto del entrenamiento concurrente en la potencia de los miembros inferiores en adultos mayores sanos **Metodología:** Se realizó un diseño de tipo cuasiexperimental pretest-posttest, sin grupo control, con un enfoque cuantitativo. La muestra final consistió en 5 adultos mayores (65 ± 10 años). Los participantes realizaron 36 sesiones de ejercicio concurrente 3 sesiones por semana, 2 de las cuales fueron dirigidas a entrenamiento de fuerza y una a entrenamiento aerobio, todas las sesiones se desarrollaron a intensidad moderada. Se determinó la composición corporal, la fuerza general, la potencia relativa (pico y promedio) y velocidad de ejecución (pico y promedio) en miembros inferiores, para las últimas variables, se utilizó un transductor lineal de fuerza, por su parte la fuerza general fue evaluada con el test de sentadillas de 30 segundos. Para la potencia y velocidad de ejecución, se consideraron los datos de la primera y última repetición del test de sentadillas de 30 segundos **Resultados:** Durante la primera repetición de sentadilla, la potencia relativa pico fue significativamente mayor al finalizar el protocolo de intervención (3.7 ± 0.28 W/kg vs 7.7 ± 1.86 W/kg ($p < 0.001$)), en el mismo sentido, la potencia pico registrada en la última repetición, fue significativamente mayor al finalizar las 36 sesiones del programa de entrenamiento de 36 sesiones (3.58 ± 0.38 W/kg vs 8.03 ± 1.03 W/kg) ($p < 0.001$). En concordancia con lo anterior, la potencia promedio registrada durante la primera repetición de sentadilla (2.19 ± 0.34 W/kg vs 4.01 ± 1.55 W/kg) ($p = 0.03$), el mismo comportamiento fue observado para la última repetición (2.19 ± 0.26 W/kg vs 4.05 ± 1.01 W/kg) ($p = 0.04$). Contrariamente, no se observaron cambios significativos en la velocidad de ejecución para ninguna repetición evaluada. Las repeticiones en el test de sentadillas fueron significativamente mayores posteriores al entrenamiento (15.4 ± 1.9 vs 19.4 ± 1.5) ($p = 0.006$). Contrariamente, no se observaron cambios estadísticamente significativos en la masa magra de miembros inferiores (11.4 ± 1.5 kg vs 11.0 ± 1.5 kg) ($p = 0.64$). **Conclusión:** La potencia muscular en miembros inferiores mejoró como consecuencia de 36 sesiones de entrenamiento concurrente. Los cambios observados en la potencia muscular no fueron acompañados por modificaciones de composición corporal en los miembros inferiores.

Palabras clave: Potencia muscular, entrenamiento concurrente, adulto mayor, masa magra

Abstract

Introduction: Muscle power is a quality that deteriorates considerably with age. Paradoxically, there are a few studies focused on assessing the impact of concurrent training on muscular power in older adults. The main objective of this thesis was to determine the impact of concurrent training on muscle power of the lower limbs in older adults without diseases. **Methodology:** The current thesis involved a pretest-posttest, with quasi-experimental design, without a control group, and quantitative approach. The final sample consisted of 5 older adults. (65 ± 10 years). The participants performed 36 sessions of concurrent training, 3 sessions per week, 2 of which were directed at strength training and one at aerobic training, all sessions were developed at moderate intensity. The body composition, general strength, relative peak power (peak and average) and execution speed (peak and average) in lower limbs were determined. For the latter variables, a linear force transducer was used, while the lower limbs strength was evaluated with the 30-second squat test. For power and speed of execution, the data from the first and last squat repetition of the 30-second squat test were considered. **Results:** During the first repetition, the relative peak power was significantly higher at the end of the intervention protocol (3.7 ± 0.28 W/kg vs 7.7 ± 1.86 W/kg ($p < 0.001$), likewise, the peak power recorded in the last repetition was significantly higher at the end of the training (3.58 ± 0.38 W/kg vs 8.03 ± 1.03 W/kg) ($p < 0.001$). In accordance with the prior data, the average power recorded during the first squat repetition was improved by the concurrent training (2.19 ± 0.34 W/kg vs 4.01 ± 1.55 W/kg) ($p = 0.03$), the same behavior was observed for the last repetition (2.19 ± 0.26 W/kg vs 4.05 ± 1.01 W/kg) ($p = 0.04$). Opposite, no significant changes were observed in execution speed for any repetition evaluated. The repetition in the squat test were significantly higher after training (15.4 ± 1.9 vs 19.4 ± 1.5) ($p = 0.006$). On the contrary, no statistically significant changes were observed in the lean mass of the lower limbs (11.4 ± 1.5 kg vs 11.0 ± 1.5 kg) ($p = 0.64$). **Conclusion:** Muscle power in the lower limbs was improved by long-term concurrent training. The changes observed in muscle power were not accompanied by changes in the lean mass of the lower limbs.

Keywords: Muscle power, concurrent training, older adults, lean mass

1. Introducción

1.1 Procesos y teorías del envejecimiento

“El envejecimiento es un proceso fisiológico que comienza en la concepción y ocasiona cambios característicos de la especie durante todo el ciclo de la vida” (Landinez, Contreras y Castro, 2012, p.564). Por lo anterior, después de nacer, las personas pasan con el tiempo por distintas etapas donde ocurre un crecimiento y desarrollo del individuo en distintas áreas que lo construyen como persona, como lo son aspectos psicológicos, sociales y fisiológicos. Aunque inicialmente todo parece que siempre va a presentarse un fenómeno de crecimiento, el ser humano alcanza un punto en el que nuestro crecimiento se estanca, en donde el organismo ya se encuentra maduro, nuestras capacidades físicas se mantienen o mejoran dependiendo del estilo de vida (hábitos de sueño, nutrición, niveles de estrés, estado emocional, entre otros) de la persona y la actividad física a la que se someta, posterior al periodo de maduración, comienza un declive paulatino, que nos conduce a la muerte (bajo condiciones naturales que implica el paso completo en los diferentes etapas de desarrollo), a esta condición se le conoce como como el ciclo de la vida. A este proceso también se le puede conocer cómo envejecimiento. Si bien, el envejecimiento se estudia desde distintas ciencias, como lo es la psicología o la sociología, en esta investigación nos centraremos en el envejecimiento desde un punto de vista fisiológico, tomando como primera referencia, la definición emitida por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022):

“El envejecimiento es el resultado de la acumulación de una gran variedad de daños moleculares y celulares a lo largo del tiempo, lo que lleva a un descenso gradual de las capacidades físicas y mentales, a un mayor riesgo de enfermedad y, en última instancia, a la muerte. Estos cambios no son lineales ni uniformes, y su vinculación con la edad de una persona en años es más bien relativa.”

Otros autores, definen al envejecimiento como un proceso paulatino y gradual de deterioro de la capacidad funcional del organismo, posterior a la madurez y que a la larga conduce a la muerte del mismo (Pérez y Sierra, 2009, p.296). Por otro lado, Alvarado y Salazar, (2014, p.58) aportan otra definición al proceso, para los autores, el envejecimiento es el conjunto de modificaciones morfológicas y fisiológicas que aparecen como consecuencia de la acción del tiempo sobre los seres vivos que supone una disminución en la capacidad de adaptación en cada uno de los órganos, aparatos y sistemas. Finalmente, y en complementación con las anteriores, (Gaviria en el 2007, p.2) define al envejecimiento como la acumulación de cambios responsables de las alteraciones secuenciales que acompañan la llegada de la edad, el aumento progresivo de las “oportunidades” de enfermedad y muerte. Como se puede notar, existen diversas definiciones del envejecimiento; sin embargo, es evidente que los distintos autores coinciden en resaltar que el envejecimiento sucede con el paso del tiempo y de manera gradual, lo segundo importante a remarcar es el hecho de que el proceso de envejecimiento se asocia con una disminución o pérdida en la capacidad funcional, por lo que al envejecer tendemos a volvernos más sedentarios (Jackson, et al. 2009; Harvey et al. 2013). Finalmente, es oportuno resaltar que el proceso de envejecimiento implica una disminución en la capacidad de adaptarse al entorno, lo que se traduce como un incremento en las posibilidades de enfermarse y de fallecer.

En la actualidad, autores han matizado en algunas características del envejecimiento, a continuación se describen: 1) es universal, ya que todos los seres vivos envejecen, 2) Es

progresivo, haciendo referencia a los efectos acumulados con el paso del tiempo que se expresan a través de los cambios propios del envejecimiento, 3) Es irreversible, 4) Es heterogéneo e individual ya que a pesar de que cada especie tiene caracterizada cierta velocidad de envejecimiento, varía la declinación funcional entre sujetos de la misma especie, incluso entre órganos de un mismo organismo, es deletéreo, refiriéndose a que lleva una progresiva pérdida de función, y por último, 5) Es intrínseco, es decir, no se produce por factores ambientales modificables (Gaviria, 2007; Landinez, et al., 2012; Rico, Oliva y Vega, 2018). Como se menciona, el envejecimiento tiene sus características bien definidas, y gracias a esta podemos delimitar y diferenciar los cambios que van sucediendo con el paso del tiempo que se deben a este y qué cambios son ajenos. En este punto González de Gago (2010) resaltó que el envejecimiento no constituye en sí a una enfermedad, sin embargo, el envejecimiento se asocia con una mayor posibilidad de enfermarse debido al desgaste y la deficiencia del sistema inmune, entre otros factores. Tomando en cuenta lo mencionado, los cambios que se dan en el cuerpo y la pérdida de la función pueden deberse al envejecimiento, como también puede deberse a otros factores como lo es la enfermedad, que si bien, puede provocar cambios negativos y disminuir la capacidad del organismo, no necesariamente se da por el simple acto de envejecer, lo que nos ayuda a diferenciar los cambios en el organismo.

Una vez aportada información sobre el concepto de envejecimiento, y sus características, se prosigue a describir brevemente algunas teorías relacionadas con el proceso de envejecimiento. Las teorías del envejecimiento buscan explicar los cambios que ocurren en el organismo a lo largo del tiempo, y estas surgen desde distintas áreas de estudio, como las teorías biológicas, psicológicas y sociales, si bien cada una explica el envejecimiento desde una perspectiva diferente, en la presente tesis nos centraremos en analizar las teorías biológicas o fisiológicas.

Durante la búsqueda de las diversas teorías se encontró que existe una amplia variedad, llegando hasta 300 teorías, estas pueden ser clasificadas de diversas maneras, en el trabajo de revisión de Weinert y Timiras (2003) se examinan las teorías desde distintos niveles y las categorizan como evolutivas, moleculares, celulares y sistémicas. Empezando por las teorías evolutivas, estas nos dicen que el envejecimiento se debe a un declive en las fuerzas de selección natural, mencionando Teoría de acumulación de mutaciones, Teoría del soma desechable, Teoría de la pleiotropía antagónica y Teoría del incremento en la mortalidad extrínseca, la teoría de la acumulación de mutaciones se refiere a que la presencia de mutaciones en el organismo lo conduce a un rápido estado de senescencia. Por otro lado, la teoría del soma desechable menciona que el organismo se mantiene sólo con fines reproductivos y después pasa a ser desechable. La teoría de la pleiotropía antagónica, nos dice que algunos genes (*trl-1*, *p53* y *daf-2*) pueden ser seleccionados para obtener efectos beneficiosos en la vida temprana, pero tener efectos nocivos no seleccionados con la edad, mismos que promueven la senescencia, y por último, en referencia a la teoría del incremento de la mortalidad extrínseca, esta se basa en resaltar que el envejecimiento sucede por factores ambientales (calidad de aire, calidad de los alimentos, medio ambiente, entre otros) o ajenos a la fisiología del organismo (Radillo, 2010; Weinert y Timiras, 2003).

Los enfoques moleculares implican 2 aproximaciones: Teoría de regulación de genes, La restricción de codones, La teoría del error catastrófico, la mutación somática y La teoría de la desdiferenciación. (Weinert y Timiras, 2003). La teoría de la regulación de genes señala (*p53* y *daf-2*) que el envejecimiento es causado por los cambios en la expresión de los genes que regulan tanto el desarrollo como el envejecimiento del organismo; la teoría de la

restricción de codones hace referencia a que la precisión de la traducción de ARNm se ve afectada por la incapacidad para decodificar codones en el ARNm; mientras que la teoría del error catastrófico menciona que con el paso del tiempo, la disminución en la precisión génica provoca una mayor fracción de anomalías o errores en la síntesis de las proteínas, la teoría de la mutación somática plantea que el envejecimiento se da debido al daño que ocurre a nivel molecular acumulado de manera principal en el ADN y en el material genético; finalmente, la teoría de la desdiferenciación menciona que el envejecimiento se da por la acumulación gradual de daño molecular aleatorio ya que perjudica la regulación de la expresión génica (Gaviria, 2007; Weinert y Timiras, 2003). Los planteamientos teóricos a nivel celular implican la teoría de la senescencia celular, la teoría de los radicales libres, "Wear & tear" o "útese y tírese" y por último Apoptosis. Comenzando por la teoría de la senescencia celular, esta explica que los fenotipos del envejecimiento son causados por un incremento en la frecuencia de células senescentes, fenómeno que se presenta debido a la pérdida de telómeros o al estrés celular; la teoría de los radicales libres, se basa en explicar al envejecimiento, como una consecuencia del metabolismo oxidativo, resaltando que los radicales libres interactúan con otras moléculas, y provocan un daño a nivel molecular y por lo tanto, posteriormente de manera celular y tisular. La teoría de "útese y tírese" (uso y desgaste) adjudica el envejecimiento a la acumulación de lesiones normales y, por último, por la teoría de la apoptosis, que no dice que la muerte celular está programada por eventos genéticos o crisis del genoma. (Gaviria, 2007; Weinert y Timiras, 2003). Finalmente, el extenso trabajo de Weinert y Timiras (2003), mencionan a las teorías que ocurren a nivel sistémico, en las resaltan deficiencias principalmente en el sistema endocrino e inmunológico (González, 2010; Weinert y Timiras, 2003).

Como puede notarse, las teorías del envejecimiento resaltan procesos celulares, y moleculares que están interrelacionados, de ahí que requiere un tratamiento multidisciplinar para mejorar el estado de salud y bienestar de los adultos mayores.

1.2 Impacto del envejecimiento en la masa y fuerza muscular

Como ya se ha mencionado en apartados anteriores, a través del envejecimiento, se presentan cambios en el organismo de las personas. Estas modificaciones, involucran a distintos sistemas fisiológicos, como lo es el sistema muscular, sistema que representa una gran parte de la composición corporal del organismo. El sistema muscular, además de cumplir con diversas funciones como la producción del calor o el control glucémico, se encarga de proveer estabilidad y movimiento, permitiéndonos cumplir con las actividades físicas de la vida diaria, así como de ejecutar acciones motrices necesarias para las actividades recreativas (Saladin 2012). El sistema muscular al igual que otros sistemas fisiológicos, pasa por proceso de desarrollo y crecimiento en donde de manera lineal, con el paso del tiempo hay un incremento de masa muscular y de fuerza de manera natural, para posteriormente llegar a un pico rendimiento y un declive respectivamente (Figura. 1).

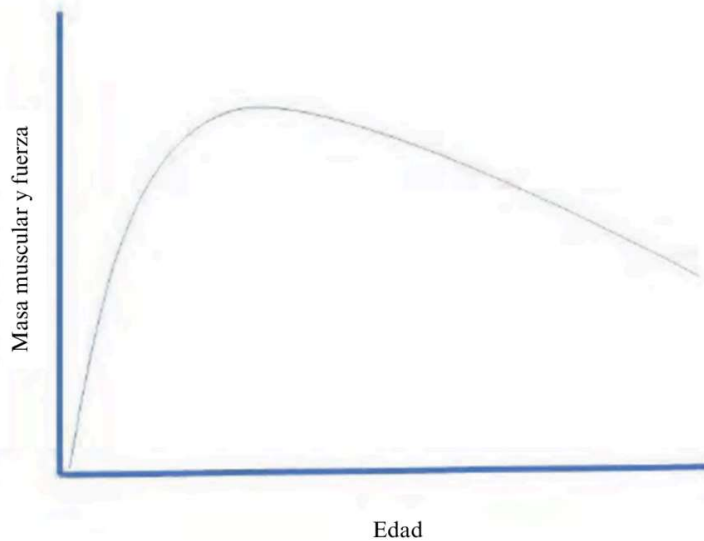


Figura 1. Cambios de la masa y fuerza muscular durante el envejecimiento. En los seres humanos, el pico máximo de masa y fuerza muscular se presenta entre los 20 y 30 años, después de ese periodo, se presenta un declive gradual en ambas variables. Tomado de Batsis et al. 2011.

La fuerza y la masa muscular alcanzan su máxima expresión entre la segunda y la cuarta décadas de la vida y desde entonces se produce una declinación progresiva (Salech, Jara y Michea, 2012). Lo anterior hace referencia a ese proceso de maduración en donde linealmente hay un desarrollo funcional como estructural del sistema muscular, para que posteriormente comience lentamente el declive en la capacidad de producir fuerza y la cantidad de masa muscular que posee el organismo. Así mismo, Keller y Engelhard mencionan que las personas alcanzan su máxima capacidad física entre los 20 y 30 años y a partir de los últimos, comienzan a mostrarse pequeños cambios en la fuerza y masa muscular, pero a partir de los 50 años, es que se acentúan los cambios, aproximadamente de un 15% por década. (Calero-Saa, Chaves-García, 2016). En concordancia con lo anterior, se menciona que a partir de los 40 años se observa un descenso acentuado de fuerza muscular en mujeres y hombres, principalmente en musculatura antigravitatoria, como extensores de rodilla y flexores plantares del tobillo (Concha, Vargas y Celis, 2020). Si bien, durante el envejecimiento se da una disminución en el tamaño y la fuerza muscular en ambos sexos, los valores entre estos difieren, siendo superiores los valores absolutos en que disminuye el tamaño y la fuerza en la población masculina, a comparación de la población femenina (Jones, et al., 2020). De manera similar, se ha reportado una mayor tasa de pérdida de masa muscular durante el envejecimiento en varones a comparación de la población femenina (de Jong, et al., 2023). También se ha utilizado la fuerza de agarre como un indicador de salud y de capacidad física, su disminución se ha asociado con discapacidades funcionales, morbilidad, mortalidad, y en este se ha observado cómo a diferencia de los varones, que presentan una disminución cada vez más empinada conforme incrementa la edad y se acelera a partir de los 50 años, la población femenina presenta una disminución constante conforme envejece y alrededor de los 55 años (desde los 50 a los 60 años) ocurre una aceleración en su disminución, la cual puede asociarse con los cambios hormonales ocurridos durante la menopausia y a su vez por la disminución en la cantidad de masa y fuerza muscular (Huebner, et al., 2022). Podemos asumir que al

reducir la cantidad de masa muscular que un organismo posee, esto se acompañará de una disminución en la capacidad para producir fuerza ya que existe una menor cantidad de fibras musculares para generar fuerza durante la contracción muscular, esta condición afecta a las actividades de la vida diaria al incidir en su capacidad para realizar gestos en su día a día. Al envejecer, el área de sección transversal del músculo esquelético disminuye, esto debido a que tendemos a volvernos menos activos con el paso del tiempo. La pérdida de masa muscular se compone principalmente de fibras rápidas, debido a la falta de movimientos explosivos, esto se acompaña de un segundo factor, el cual es la pérdida selectiva de motoneuronas correspondientes a fibras rápidas (Taylor y Johnson, 2008). Acompañado de la reducción de la masa muscular, existen otros cambios en la composición corporal que influyen en la producción de fuerza y potencia. Por ejemplo, Salech, et al., (2012), resaltaron que durante el envejecimiento se presenta en las células musculares una infiltración de tejido graso y tejido conectivo, se presenta un desarreglo de las miofibrillas, y se reduce el flujo sanguíneo. Además, se ha demostrado que el envejecimiento conduce a una reducción en la producción y función de hormonas anabólicas, que conllevan a una menor ganancia de masa muscular a una etapa de senescencia. (Maggio, et al. 2007) A nivel subcelular hay acumulación de moléculas con daño por estrés oxidativo, disfunción mitocondrial, falla en la síntesis de nuevas proteínas relevantes para la formación de miofibrillas, entre otros. Todos estos cambios se traducen en una menor capacidad del músculo para generar fuerza (Salech, et al., 2012). Tomando en consideración lo mencionado anteriormente, al envejecer perdemos masa muscular y su capacidad de generar fuerza, sin embargo, ambos fenómenos son explicados de manera distinta. Para ello se introducirán dos términos, el primero se conoce como dinapenia y el segundo como sarcopenia. La dinapenia es básicamente la pérdida de fuerza y potencia muscular que tiene relación con la edad, que, a su vez, tiene relación con la capacidad funcional del adulto mayor, pues la disminución de fuerza se asocia con una disminución en el rendimiento físico, aumento de discapacidad física e incluso la muerte (Concha, et al., 2020). Por otro lado, la sarcopenia según el Grupo de Trabajo Europeo sobre Sarcopenia en Personas Mayores (EWGSOP, siglas en inglés) define la sarcopenia como “síndrome geriátrico caracterizado por una progresiva y generalizada pérdida de masa muscular asociada a la edad” (Concha, et al., 2020). La diferencia entre una definición y otra puede asociarse con la selección natural del organismo por la disminución de las fibras musculares rápidas y la denervación de motoneuronas correspondientes a estas. El número de las unidades motoras que se mantienen hasta los sesenta años son aceptables, pero a partir de esa edad se observa una disminución progresiva en la cantidad de unidades motoras, llegando hasta un 30% menos entre los sesenta y setenta años. (Concha, et al., 2020, Olmos, García y González, 2007). A esto, es sabido que conforme envejecemos, las unidades motoras experimentan ciclos de denervación-reinervación, lo cual genera alteraciones en los componentes pre y postsinápticos de acetilcolina, y, por lo tanto, alteración de la secuencia funcional del proceso de contracción” (Concha, et al., 2020). Además de estos fenómenos fisiológicos, es conocido que el envejecimiento conduce a una deficiencia en el aporte de nutrientes y oxígeno hacia el músculo, lo que genera un proceso de fatiga anticipada y un menor control muscular voluntario además de una mayor rigidez en los tendones por disminución de colágeno afectando su capacidad para deformarse, modificando gestos de la vida diaria como caminar, o actividades recreativas (atender programas comunitarios o privados de activación física) (Concha, et al., 2020). En la figura 2 se esquematiza el impacto del envejecimiento sobre la función muscular.

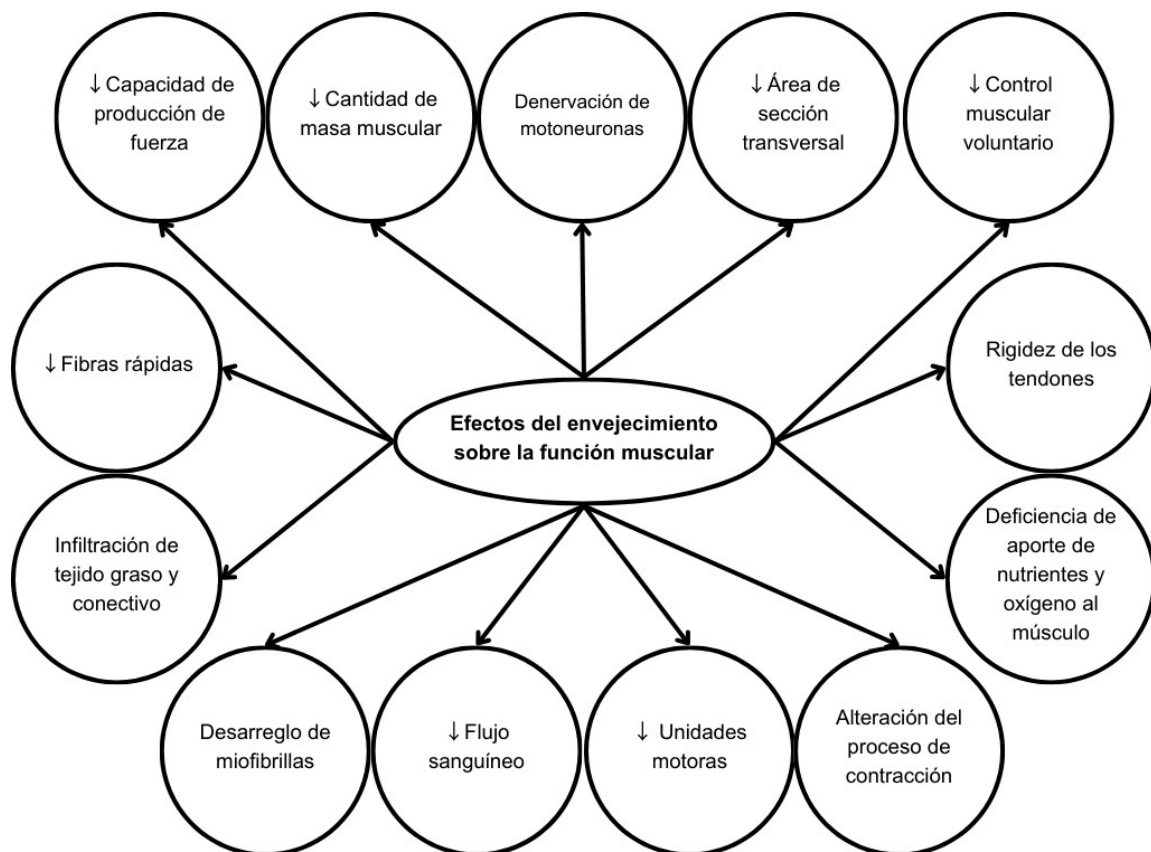


Figura 2. Visión general esquemática sobre los efectos del envejecimiento sobre la función muscular mencionados anteriormente.

2. Antecedentes

2.1 Potencia muscular y factores que regulan su manifestación

2.1.1 Factores internos

Para poder abordar la definición de potencia muscular, se debe inevitablemente considerar el concepto de fuerza muscular. Para lo anterior, se toma de referencia a Moir (2016), quién define a la fuerza muscular como la habilidad de un músculo o grupo muscular para producir fuerza en contra de una resistencia externa, la cual suele ser la masa de un cuerpo. Nuestro sistema muscular es capaz de producir fuerza contra factores externos con el fin de cumplir con diversas actividades de la vida diaria, estas involucran, actividades simples como la de mantenerse en pie, caminar o correr. Siguiendo con el abordaje de puntos clave en la realización de la fuerza muscular, y su manifestación en el movimiento humano, es necesario mencionar que la generación de la fuerza demanda en nuestro organismo la producción de energía, misma que proviene de los diferentes procesos metabólicos aeróbicos y anaeróbicos. En referencia a la potencia, se define como la tasa a la que se hace el trabajo o qué tanto trabajo se hace dentro de una cantidad específica de tiempo,

puediendo también entenderse como qué tan rápido o qué tan lento el trabajo es realizado (McGinnis, 2013). Por otro lado, se ha indicado previamente que la potencia muscular se muestra como un sistema multifacético de fuerza, desplazamiento, velocidad y trabajo” (McBride, 2018). Haciendo referencia a lo anterior, la potencia se ve regulada por distintos factores internos y externos. Mc Bride (2018) menciona que la potencia se ve regulada por factores internos, como lo es la disponibilidad de energía Adenosín Trifosfato (ATP), Fosfocreatina (PCr), y la interacción los puentes de unión (reflejada en la relación fuerza-velocidad y longitud-tensión). Además del ángulo de penación del músculo, tipo de fibra muscular, arquitectura muscular (área de sección transversal, longitud del fascículo), propiedades del tendón, isoformas de las cabezas de miosina, y factores neuronales como lo es el reclutamiento de unidades motoras y la frecuencia de disparos, entre otros (Cormie, McGuigan y Newton, 2011). En las siguientes líneas, se describe brevemente el papel de los factores internos antes enlistados sobre la generación de la potencia.

La relación fuerza-velocidad ($R_{F \times V}$) del músculo se presenta de manera inversa durante la contracción muscular, mientras que un músculo se contrae de manera concéntrica a mayor velocidad, será capaz de producir una menor cantidad de fuerza, esto se debe a que se requiere de una cantidad de tiempo fijo para que los puentes cruzados se unan y se separen, por consecuencia, a medida que se incrementa la velocidad de contracción hay una menor cantidad de puentes cruzado, demostrando que la máxima capacidad de producir potencia se debe a valores submáximos de fuerza y velocidad (Cormie, et. al, 2011). Además de lo anterior, la relación longitud-tensión ($R_{L \times T}$) regula la capacidad del músculo para producir fuerza, esta nos dice que dependiendo la longitud a la que se encuentre el sarcómero, provee de un mayor o menor entrecruzamiento de los filamentos de actina y miosina, existiendo una longitud “óptima”, en la cual se da una interacción máxima de entrecruzamiento, lo que permite mayores niveles de tensión activa (Cormie, et. al, 2011).

Por último, el tipo de acción muscular e implícitamente el gesto motor puede influir en la capacidad de producir potencia, esto basado en el tipo de contracción muscular que se ejecute (o la combinación de estas) puede producir mayor o menor potencia, por ejemplo, cuando se da una contracción excéntrica seguida por una contracción concéntrica, como sucede durante el ciclo estiramiento-acortamiento, se produce una mayor cantidad de fuerza y potencia a comparación de un esfuerzo proveniente de una sola contracción concéntrica, además, existen otros factores dentro del tipo de acción que influyen en la capacidad para producir la mayor cantidad de potencia, como lo es el tiempo disponible para producir fuerza, el almacenamiento y utilización de la energía elástica (propiedades pasivas del músculo esquelético), y las interacciones de los elementos contráctiles (Cormie, et. al, 2011).

Por otro lado, también se ha señalado a la proporción del tipo de fibras musculares dentro del propio músculo, como un factor regulador interno para la generación de potencia muscular. Como consecuencia de que las cabezas pesadas de miosina de tipo II tiene mayor velocidad de hidrólisis de ATP, el desplazamiento de los filamentos gruesos sobre los delgados es relativamente rápido, lo que se refleja en una mayor generación de potencia muscular. En consecuencia, músculos con un mayor porcentaje de fibras tipo II son capaces de producir más potencia a comparación de músculos con un porcentaje de fibras musculares mayor de fibras tipo I (Cormie, et. al, 2011). Otro factor morfológico a considerar en la generación de potencia es la arquitectura muscular, en la arquitectura muscular se considera el área de sección transversal, la longitud del fascículo y el ángulo de penación del músculo (Cormie, et. al, 2011). La capacidad de fuerza máxima que puede generar una

fibra muscular es directamente proporcional a su área de sección transversal (AST), independiente del tipo de fibra muscular, por lo que a mayor AST mayor capacidad de producir fuerza y, por lo tanto, mayor producción de potencia (Cormie, et. al, 2011).

El ángulo de penación de un músculo hace referencia a el ángulo entre los fascículos de un músculo y su línea de acción, este acomodo de tejido influye en la reacción fuerza-velocidad debido a que conforme el ángulo de penación incrementa, mayor cantidad de sarcómeros se acomodan en paralelo y por lo tanto, ese músculo tendrá más tejido contráctil capaz de unirse a alguna parte de la aponeurosis o del tendón y así producir más fuerza, además de que al tener un ángulo de penación mayor permite que las fibras musculares se encuentren más cerca de su longitud óptima (mencionada anteriormente en la relación longitud-estiramiento), sin embargo, altos grados de penación se han asociado con contracciones más lentas, por lo que podemos asumir que hasta cierto punto, puede tener un impacto negativo en la velocidad de contracción de un músculo, a pesar de ello el impacto que tiene el ángulo de penación sobre los incrementos de fuerza son superiores a comparación de los incrementos de la velocidad de contracción que puede brindar (Cormie, et. al, 2011).

Por último, las propiedades de distensión del tendón es otro factor interno para la generación de potencia, esto fundamentado que a una menor distensión puede mejorar el rendimiento muscular (Cormie, et. al, 2011).

Además de las variables propias del músculo esquelético (tipo de fibras muscular, longitud del sarcómero, etc.), se han identificado también variables neuronales que juegan un rol en la generación de potencia, esto al considerar que el sistema nervioso active de manera adecuada los músculos involucrados en el movimiento o gesto, estos factores son el reclutamiento de las unidades motoras, la frecuencia de disparo y la sincronización, así como la coordinación intermuscular (Cormie, et. al, 2011). El reclutamiento de unidades motoras se genera en respuesta al principio del tamaño, el cual nos dice que el reclutamiento de motoneuronas-alfa va de acuerdo al nivel de fuerza requerido, primeramente se activan las motoneuronas de menor tamaño que se activan a niveles bajos de fuerza debido a que tienen un umbral bajo, las cuales inervan fibras tipo I y de manera progresiva se activan motoneuronas-alfa más grandes que inervan fibras más grandes, como lo son las fibras tipo IIa y tipo IIx que producen niveles más elevados de fuerza y que tienen un umbral más elevado, y ya que estas últimas tienen una mayor capacidad para producir fuerza el reclutamiento influye en la capacidad del músculo de producir la mayor cantidad de potencia (Cormie, et. al, 2011). En concordancia con lo anterior, utilizando procedimientos de electromiografía se ha encontrado que utilizando contracciones lentas o que se van incrementando en forma ascendente presentan un incremento monótono de fuerza, mientras que las contracciones rápidas se caracterizan por un estallido altamente sincronizado de actividad al inicio de la acción, lo que nos indica que la magnitud de la activación y por lo tanto, la fuerza producida por un músculo depende del número de unidades motoras activadas y la tasa o velocidad en la que las motoneuronas transmiten potenciales de acción (Maffioletti, et al, 2016)

La frecuencia de disparo, indica la tasa de los impulsos neurales transmitidos desde una motoneurona-alfa a las fibras musculares, esta frecuencia puede influir de dos maneras, (1) al incrementar la frecuencia de disparo mejora la cantidad de fuerza generada durante una contracción (2) tiene un impacto en la tasa de desarrollo de fuerza de la contracción muscular, ambas maneras influyen en la producción de fuerza de manera general y dentro de un corto tiempo, (Cormie, et. al, 2011).

La sincronización de las unidades motoras se da cuando dos o más unidades motrices son activadas en conjunto de una manera más frecuente de lo que suele ser esperados por procesos aleatorios independientes, se hipotetiza que este proceso tenga un aumento en la producción de fuerza y una influencia positiva en la tasa de desarrollo de fuerza y potencia, sin embargo, no se ha encontrado diferencia entre la producción fuerza entre la activación asincrónica y sincrónica de las unidades motoras, se especula que la sincronización pueda ser una estrategia para la coordinación inter muscular y por lo tanto, pueda tener un impacto en la producción de fuerza o de la tasa de desarrollo de fuerza, durante movimientos multi articulares complejos a diferencia de movimientos mono articulares en donde la sincronización parece no tener un impacto significativo. (Cormie, et. al, 2011).

Finalmente, la coordinación inter muscular definida como la activación apropiada de los músculos agonistas, sinergistas y antagonistas durante un movimiento en tiempo en magnitud y tiempo, ya que para la ejecución efectiva de un movimiento se requiere un acompañamiento adecuado de la actividad de los músculos sinergistas y la disminución de la co-contracción de los músculos antagonistas (Cormie, et. al, 2011; Kraemer y Looney, 2012).

2.1.2 Factores externos

Además de los fenómenos intrínsecos, existen factores externos que influyen en la generación de la potencia. En ese sentido, la edad debe considerarse como uno de los fenómenos externos, esto al considerar que los niveles de potencia de un mismo individuo varían a lo largo del ciclo de la vida.

2.1.2.1 Estadios de la vida

La potencia neuromuscular (PNM) se puede apreciar en la fuerza muscular del individuo, de manera natural se produce una ganancia de PNM en niños prepuberales (5-10 años de edad) esto se asocia a la maduración del sistema nervioso central y las adaptaciones que trae consigo (tanto la capacidad para activar y coordinar las unidades motoras como el incremento de la mielinización) que mejoran el estímulo nervioso en esta fase de desarrollo (Triplett y Lloyd, 2018), posteriormente se da un segundo brote de PNM 18 meses antes del pico de mayor crecimiento (porcentaje máximo que alcanza durante su curva de crecimiento), que es de los 10.5 años para las niñas y 12.5 años para los niños aproximadamente, acompañado de otros picos de mejora que suelen producirse después de 6 a 12 meses del pico mayor de crecimiento, (Triplett y Lloyd, 2018). En la medida que los niños crecen y pasan a la adolescencia, además de la maduración del sistema nervioso se da un incremento en la capacidad de producción de fuerza debido a los cambios estructurales y arquitecturales en el tejido contráctil (Triplett y Lloyd, 2018), de manera similar otros autores (Tumkur Anil Kumar, Oliver, Lloyd, Pedley y Radnor, 2021), mencionan que los cambios en la arquitectura pueden sustentar las ganancias naturales de fuerza que se dan en la transición de niños a la edad adulta.

Además de los cambios en el sistema nervioso y el tejido contráctil, los niños jóvenes que realizan actividad física o un deporte, suelen realizar movimientos que desarrollan o potencian el ciclo acortamiento-estiramiento (CEA), el cual influye en la capacidad para producir altos niveles de fuerza, por lo que parte de la mejora en la capacidad de producción de potencia se ve influenciada por la habilidad para realizar de manera efectiva el CEA, que se ve modificada a medida que madura (Triplett y Lloyd, 2018). Si bien, las investigaciones acerca de la interacción entre crecimiento, maduración y entrenabilidad de la PNM son

escasos, se ha demostrado que tanto niños como adolescentes pueden mejorar esta cualidad física a través del entrenamiento de fuerza, con ciertas diferencias, mientras que las ganancias de fuerza obtenidas por el entrenamiento de fuerza en la niñez se deben a cambios en el sistema nervioso, en el adolescente las ganancias de fuerza son consecuencia de adaptaciones en el sistema nervioso y cambios estructurales y arquitecturales (Triplett y Lloyd, 2018).

La generación de PNM en la niñez y adolescencia se ve influenciada por diversos factores relacionados con la edad, entre ellos se encuentra el área de sección transversal del músculo, la longitud del fascículo, el ángulo de penetración, la arquitectura del tendón y la rigidez (Tumkur Anil Kumar, et al, 2021).

El área de sección transversal del músculo en la niñez es diferente al de un adolescente y por lo tanto, también al de un adulto, algunos estudios han demostrado que durante el proceso de maduración se dan cambios en el área de sección transversal del músculo, ocurriendo mayores incrementos en varones de entre 13 y 15 años, además que en comparación, individuos en la adultez poseen un músculo con mayor grosor a comparación de los que presentan individuos en la niñez, al igual que individuos en la adolescencia de mayor edad presentan un mayor grosor a comparación de adolescentes de menor edad. (Tumkur Anil Kumar, et al, 2021).

El área de sección transversal también se asocia en adultos y niños con la capacidad de producir de manera voluntaria la mayor cantidad de fuerza (Tumkur Anil Kumar, et al, 2021). Acompañado de los cambios estructurales del área de sección transversal, también se da un cambio en la longitud del fascículo, señalando que hay una gran diferencia en la longitud de este entre niños y adultos, sin embargo, la longitud del fascículo no suele ser diferente de manera significativa entre un adulto y un adolescente de 15 años, aunque a comparación de los niños, los adolescentes presentan mayor longitud del fascículo que individuos en la niñez (Tumkur Anil Kumar, et al, 2021).

El crecimiento y la maduración también influyen en mecanismos neurales, como lo es la variación de la tasa de activación muscular, el reclutamiento de unidades motoras, la reducción del retraso electromecánico, el aumento de la pre activación muscular, reducción de la cooperación agonista-antagonista, la co-contracción y una mejora del control del reflejo estiramiento y velocidad de conducción, además la habilidad de generar altos niveles de actividad muscular y por lo tanto, la capacidad de generar fuerza rápido, se desarrolla con la maduración (Tumkur Anil Kumar, et al, 2021).

La activación muscular voluntaria se puede definir como el nivel de impulso neural al músculo durante una contracción voluntaria máxima, cuando hay una falta de éste se le conoce como déficit (Tumkur Anil Kumar, et al, 2021).

Estudios demuestran que existe una disminución del déficit de contracción voluntaria máxima cuando se compara entre edades previas a la pubertad (7 años) y posteriores a esta (10 años), de tres veces mejor, cuatro veces mejor a los 11 años y 9 veces mejor en la adultez.

En lo que respecta a la etapa de adultez, se conoce que, a principios de los 20 años, se encuentra el pico del desarrollo fisiológico, que incluye la fuerza muscular, el tiempo de reacción, habilidades sensoriales y la función cardíaca, mientras que el envejecimiento comienza alrededor de los 30 años (Lally y Valentine, 2023).

Por otro lado, al igual que los jóvenes, los adultos mayores son capaces de desarrollar mayor PNM a través del entrenamiento de fuerza, siempre y cuando las intervenciones consideren sus limitaciones físicas y que venga acompañado de un entrenamiento previo de fuerza que sirva como base (Triplett y Lloyd, 2018).

Sin embargo, el adulto mayor se encuentra en un momento distinto, en donde a diferencia de los jóvenes, el desarrollo de PNM ya no se debe al crecimiento y maduración. Los adultos mayores se encuentran en un declive natural de sus funciones fisiológicas (incluyendo los sistemas musculares, neurales y esqueléticos), entre los cambios que puede influir en la PNM del adulto mayor se encuentra la sarcopenia, la cual hace referencia a la pérdida de masa muscular, fuerza y calidad muscular, que influye en los factores estructurales y neurales, compuesta principalmente por una pérdida de fibras tipo II (que puede asociarse con una exposición disminuida a actividades en donde se vean implicadas) acompañado de una disminución en la función de las neuronas motoras que las inervan y un proceso de remodelación de las unidades motoras que ocasiona una denervación de fibras tipo II y una reinervación de neuronas relacionadas con fibras tipo I (Triplett y Lloyd, 2018). A lo anterior también se le asocia una disminución en la cantidad de mielina que recubre la neurona motora, lo que disminuye la transmisión de las señales neurales a la célula muscular (Triplett y Lloyd, 2018).

Además, se ha indicado que los adultos mayores presentan una mayor coactivación de los músculos antagonistas en la marcha, esta alteración puede deberse a un mecanismo compensatorio para mantener la estabilidad articular y disminuir el riesgo de caída, sin embargo, el hecho de que se vea alterada la inhibición de los músculos antagonistas durante una contracción puede influir en la capacidad del músculo agonista al momento de producir potencia, lo anterior se debe al torque neto que se produce en la articulación por los músculos agonistas y antagonistas (McKinnon, Connelly, Rice, Hunter y Doherty, 2016). A nivel molecular, también existen cambios en el acoplamiento contracción-excitación, estas alteraciones ocurren debido a factores como lo es la disminución de la velocidad en el entrecruzamiento de filamentos que termina disminuyendo la velocidad de contracción y la disminución en la concentración de miosina en la fibra muscular (McKinnon, et al, 2016). Los cambios que sufre el adulto mayor convergen en una disminución en la capacidad para producir fuerza y la velocidad de contracción, que, por lo tanto, disminuyen la capacidad del sistema neuromuscular para producir potencia. (Triplett y Lloyd, 2018)

Finalmente, el tejido conectivo también sufre de modificaciones, como lo es la disminución de su elasticidad y un incremento de la rigidez, mayor de la que es necesaria para la transmisión de la fuerza del músculo al tendón, lo que termina afectando al CEA puesto que las alteraciones que sufre influyen en su capacidad de absorber la fuerza muscular y almacenar la energía potencia disminuyéndola, ocasionan una reducción en la producción de fuerza y potencia (Triplett y Lloyd, 2018).

2.1.2.3 Sexo

El sexo biológico del individuo es otra condición que influye en la capacidad para producir potencia (Mansour et al. 2021). En general, los individuos del sexo masculino suelen ser más altos, pesados, con una mayor masa corporal magra, menor masa grasa y mayor proporción de fibras tipo II en referencia a las féminas (Landen, et al. 2023). Los cambios mencionados anteriormente se dan a partir de la niñez tardía y la adolescencia temprana, en donde las diferencias entre los sexos se dan debido a los cambios endocrinos que ocurren durante la pubertad, como lo es el incremento de secreción de la hormona

foliculoestimulante y la hormona luteinizante que fomenta la secreción de testosterona en individuos del sexo masculino, provocando un incremento en la formación de huesos más largos y un incremento en la síntesis proteica, mientras que en el sexo femenino se da una secreción de estrógeno que influye en el crecimiento del cuerpo al incrementar la tasa de crecimiento del hueso, ampliar la pelvis, estimular el desarrollo de las glándulas mamarias e incrementar la deposición de grasas, principalmente en la cadera y muslos (Kenney, Wilmore y Costill, 2012).

Las mujeres presentan una menor capacidad de generar fuerza en la parte superior, se reporta un déficit de aproximadamente 40% a 60% en referencia a los varones (Kenney, Wilmore y Costill, 2012), contrariamente, la diferencia en la generación de fuerza para los miembros inferiores entre mujeres y hombres es de 25% a 30% (Kenney, Wilmore y Costill, 2012). Sin embargo, estos datos cambian cuando los niveles de fuerza se expresan en relación al peso corporal o en relación a la masa libre de grasa, ya que cuando se realiza una comparación en términos relativos, la diferencia de fuerza llega a ser del 5% al 15% (Kenney, Wilmore y Costill, 2012).

A este punto, es importante destacar que, a pesar de lo anterior, ambos sexos incrementan su fuerza de manera similar con intervenciones de entrenamiento de fuerza, el aumento de esta variable se refleja en mayor medida cuando esta se expresa en términos de masa relativa (Landen, et al. 2023).

En lo que respecta a la producción de potencia muscular, cuando se compara levantadores de pesas competitivos en la potencia producida en relación al peso corporal de un arranque o tirón, las mujeres producen un nivel de potencia a un 63% de lo que producen los hombres, y comparando el salto vertical y salto horizontal, los puntajes obtenidos tienden a ser menores en mujeres a comparación de hombres (Lloyd y Faigenbaum 2016; Zatsiorsky, Kraemer y Fry, 2021). Una explicación de las diferencias en la generación de potencia entre hombres y mujeres, puede radicar en la composición muscular. Las mujeres poseen menor cantidad de fibras musculares (Zatsiorsky, Kraemer y Fry, 2021), al considerar la diferencia en el tamaño de fibras musculares, las fibras musculares más grandes se asocian con unidades motoras de umbral más alto, lo que significa que presentan amplitudes de potencial de acción más altas y por lo tanto pueden producir una mayor fuerza contráctil, a comparación de las mujeres, que al tener fibras musculares más pequeñas, presentan unidades motoras con umbrales más bajos, resultando en amplitud de potencial de acción más bajos y por lo tanto una fuerza contráctil menor.

2.1.2.4 Tipo de entrenamiento

Además de la edad, y el sexo del individuo, existen otros factores reguladores de la generación de la potencia, tales como el tipo de entrenamiento. En el entrenamiento deportivo existen factores que condicionan la magnitud de carga que se puede aplicar en el entrenamiento, siendo estas las necesidades del deportista, las cuales corresponden a la edad, experiencia, y la especialidad deportiva, resaltando las capacidades físicas características y/o de suma relevancia de la competición deportiva (Navarro, 2003). Las necesidades del deportista terminan definiendo qué es lo más adecuado para mejorar. En el contexto de entrenamiento de potencia, para poder generar mayores niveles de potencia se debe partir de una base de fuerza máxima (Bompa y Buzzichelli, 2022; Haff y Nimphius, 2012). Sin embargo, la edad y el nivel o experiencia del deportista influirá en la necesidad de un mayor o menor tiempo previo al entrenamiento de fuerza máxima para realizar una adaptación anatómica, que permita incrementar la capacidad de trabajo y prepare a los

músculos, ligamentos y tendones para el estrés de las fases posteriores (Bompa y Buzzichelli, 2019).

2.1.2.5 Ciclos circadianos

Además de los factores que se mencionaron anteriormente, la capacidad de producir potencia de un individuo se ve afectada por los ciclos circadianos. Los ritmos circadianos son ciclos biológicos de tiempo (24 horas) que preparan al organismo para fluctuaciones diarias del ambiente a través del control de distintos ritmos fisiológicos y comportamentales como lo son los ciclos de sueño vigilia, temperatura corporal, metabolismo y secreción hormonal (Nakao, Nikawa, Oishi 2017). En los humanos, estos ciclos se originan por el núcleo supraquiasmático, el cual se encuentra dentro del hipotálamo y a través de la retina por la vía retino-hipotalámica, recibe la entrada del ciclo solar que influye en la manera en que el núcleo supraquiasmático coordina los ritmos biológicos diarios (mencionados anteriormente) (Hernández 2015).

Lo anterior influye tanto en actividades motrices simples y continuas de larga duración que se relacionan más con la resistencia, como en actividades motrices más complejas, que se pueden relacionar con actividades de corta duración que se relacionan con fuerza y potencia muscular (Mora, García, López, Ortega, Fernández, 2012). Respecto al rendimiento del ejercicio, existen factores que contribuyen a los ciclos circadianos en relación a estos, como lo son los factores externos que tienen que ver con el ambiente y no pueden ser modificados, los factores internos o fisiológicos, que tienen que ver con el ritmo biológico individual y su habilidad para adaptarse al cambio de estos ritmos y por último, el estilo de vida que relaciona lo psicológico con lo biológico que influye en las preferencias para realizar actividades y patrones de sueño (Teo, Newton y McGuigan, 2011). Los ritmos de los ciclos circadianos pueden afectar el rendimiento al alterar los procesos de entrecruzamiento de la actina y miosina, el metabolismo fosfágeno y/o la capacidad del músculo para neutralizar el ácido láctico acumulado (Mora, et al. 2012).

Se ha observado en diversos estudios que la aptitud anaeróbica, la fuerza y potencia es superior durante el día y a pesar de que lo anterior tenga una correlación con la temperatura corporal, también se ha demostrado que hay un incremento en el impulso neural y una mejor coordinación entre las contracciones agonistas y antagonistas (Teo, Newton y McGuigan, 2011). De manera similar, en otras investigaciones se ha observado la influencia del momento del día en el torque y la electromiografía en la actividad de los músculos flexores del codo en contracciones isométricas máximas y submáximas, observándose un mayor torque en la tarde (4-6 PM) a comparación de las medidas tomadas en la mañana (8-10 AM), así como en otros estudios se ha observado mayor fuerza muscular, torque y potencia en la tarde a comparación de la mañana (Zhang, Dube y Esser. 2009). Identificando que existen puntos sensibles durante el día en el que se produce una mayor cantidad de fuerza y potencia muscular, lo que nos conduce a inferir que hay momentos más oportunos para realizar entrenamientos y, por lo tanto, obtener una mayor manifestación de las capacidades mencionadas.

Por último, la nutrición puede ser un factor importante en la capacidad del individuo para producir potencia. Para producir movimiento, se requiere energía, la cual se provee al organismo por el rompimiento de los enlaces de los fosfatos de moléculas de ATP que son obtenidas a través de la dieta y los componentes de los alimentos o macronutrientes de estos, y que, dependiendo del tiempo y la intensidad del movimiento, requerirán de un sistema energético u otro y por lo tanto, de cierto macronutrientes (MacLaren y Morton,

2012; Bompa y Buzzichelli, 2015), por otro lado se ha identificado en adultos mayores una relación inversa entre la ingestión de proteínas y el desarrollo de la potencia en los miembros inferiores (Coelho-Júnior et al. 2022), efecto que parece ser mediado por un exceso o sobre activación de las rutas metabólicas relacionadas al metabolismo de aminoácidos que desencadena procesos moleculares relacionados a la atrofia muscular (Coelho-Júnior et al. 2022). Adicionalmente, estudios meta-analíticos han demostrado que el consumo de cafeína con fines ergogénicos, contribuye positivamente a la manifestación de potencia en miembros inferiores (Grgic et al. 2018).

2.2 Guías del entrenamiento para el desarrollo de potencia muscular

De manera general existen métodos de entrenamiento que pueden ser utilizados con el fin de mejorar la capacidad de producir potencia, sin embargo, el método más adecuado dependerá de las necesidades individuales. El desarrollo de la fuerza máxima puede ser la primera estrategia (y base necesaria) para incrementar la capacidad de producción de potencia en deportistas principiantes y/o jóvenes ya que la potencia está limitada por la cantidad de fuerza que puede aplicar el individuo. Por consiguiente, un aumento en fuerza general resultará en mejoras significativas en la potencia muscular y el rendimiento físico-atlético general (Haff y Nimphius, 2012; Cormie, McGuigan y Newton. 2011). Como se mencionó anteriormente, la capacidad de producir fuerza y velocidad son los componentes que regulan la manifestación de potencia muscular, por lo que la intensidad (refiriéndose al peso expresado en porcentaje del 1RM) puede variar dependiendo sobre qué componente se busca predominar y, por lo tanto, qué porción de la curva fuerza-velocidad queremos mejorar o enfatizar (Haff y Nimphius, 2012) (Figura 3).

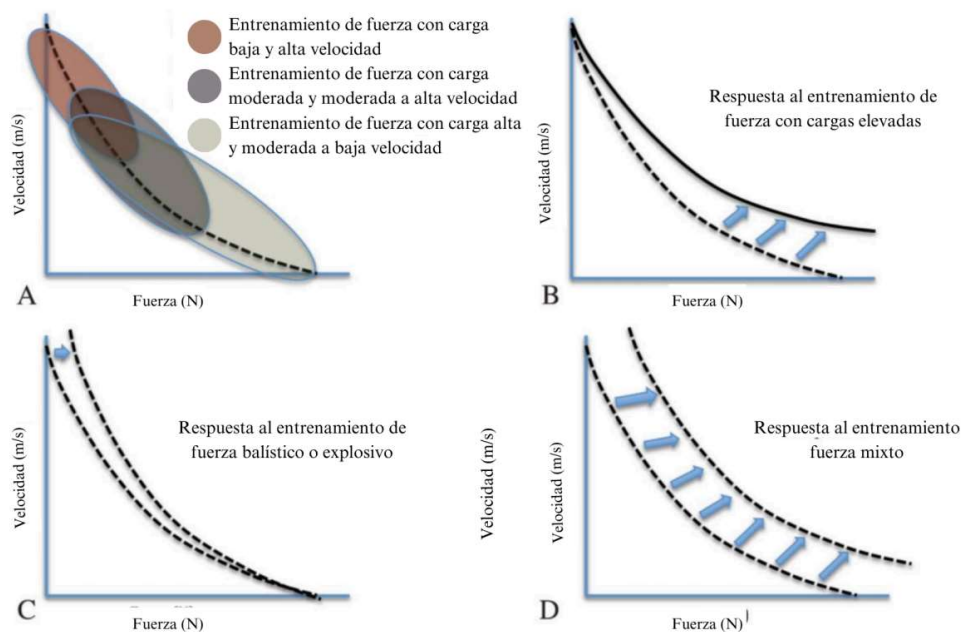


Figura 3. Posibles intervenciones de entrenamiento que impactan en la curva fuerza velocidad y su respuesta ante estos mismos. Tomado de Haff y Nimphius, 2012.

La capacidad de producir potencia en movimientos dinámicos y multiarticulares es dependiente de la naturaleza de los movimientos involucrados, por lo tanto, la selección de ejercicios influirá en la cantidad de mejora del rendimiento y los tipos de adaptaciones, pudiendo ser ejercicios tradicionales de fuerza, ejercicios balísticos, y pliometría (Cormie, McGuigan y Newton. 2011).

También la capacidad de producir potencia se ve influenciada por la resistencia (peso corporal o carga externa) contra la que se esté venciendo durante el movimiento, las cuales pueden abarcar desde cargas pesadas ($\geq 80\%$), cargas ligeras (0-60%), carga óptima (diferente entre tipo de movimiento) y una combinación de cargas, las cuales buscan una mezcla de las anteriores cargas con el fin de abarcar en su totalidad la curva-fuerza velocidad y así mejorar el rendimiento muscular en la capacidad de producir potencia en distintos contextos (Cormie, McGuigan y Newton. 2011).

Por último, la velocidad a la que se produce el movimiento es otro factor importante que influye en las adaptaciones respecto a la capacidad de producir fuerza en determinadas velocidades (altas o bajas) además de la intención de realizar el movimiento a alta velocidad ya que tanto la velocidad del movimiento, como la intención de realizarlo de manera explosiva son estímulos requeridos para conseguir adaptaciones neuromusculares y mejorar su rendimiento (Cormie, McGuigan y Newton. 2011).

Se ha señalado que el entrenamiento con ejercicios balísticos con cargas del 0% al 50% del 1RM y/o ejercicios de levantamiento de pesas con cargas del 50% al 90% parecen ser el estímulo más potente de carga para mejorar la potencia máxima en movimientos complejos, además del uso de ejercicios pliométricos con poca o sin carga externa (Cormie, McGuigan y Newton. 2011).

Otros autores (Bompa y Buzzichelli 2022) señalan que durante una fase (periodo de entrenamiento) de potencia, generalmente se suele utilizar una combinación de métodos, como lo es el método isotónico, balístico, potencia-resistida y pliométricos, de los cuales propone rangos de las variables de la carga para poder desarrollar la potencia muscular de manera específica.

La estructura de la serie es otro aspecto a considerar en los entrenamientos enfocados a desarrollar la potencia muscular. Las estructuras tradicionales que corresponden a realizar cierta cantidad de repeticiones tienden a disminuir la potencia producida conforme se ejecutan las repeticiones, como Hardee et, al. (citado por Haff. 2018), mencionan que en una serie de 6 repeticiones del ejercicio cargada de potencia hay una disminución de un 15.7% en el rendimiento de la potencia de la primera a la última repetición. Se ha propuesto una manera de maximizar el resultado de potencia durante el entrenamiento a través de las series clúster, las cuales según Haff et al., definen como una estructura de series que aplica un intervalo de descanso (15-45 s) entre repeticiones o grupos de repeticiones con el fin generar una recuperación parcial, misma que permite maximizar la potencia del movimiento ya que al comparar la cargada al 80% del 1RM de las series tradicionales (mencionadas anteriormente) con una serie del mismo ejercicio realizada con 20 segundos de descanso entre repeticiones, se observó una menor disminución de potencia (5.5%) en la ejecución de las repeticiones (Citado por Haff. 2018). De lo anterior podemos concluir que las series clúster pueden ser una opción cuando el objetivo sea la optimización de la producción de potencia en algún gesto por una cantidad de trabajo determinado (ej. 6 repeticiones).

Otra alternativa enfocada a mejorar el desarrollo de potencia son los complejos de fuerza-potencia, en donde se utiliza la contracción muscular previa para mejorar el incremento de la producción de fuerza y potencia del ejercicio subsiguiente, los cuales se

dividen en ejercicios o actividad de acondicionamiento, en donde se utilizan cargas elevadas seguidas de otra actividad de rendimiento de alta potencia (Haff. 2018).

3. Justificación

Como se ha mencionado, el envejecimiento es un proceso universal el cual se asocia con un deterioro gradual de los sistemas del organismo y su funcionalidad. Si el envejecimiento es acompañado por estilos de vida poco saludables tales como el sedentarismo, la calidad de vida del adulto mayor se ve disminuida considerablemente, impactando entre otros aspectos el nivel de independencia funcional. Estudios citados a lo largo de este trabajo han identificado la relevancia de la práctica del ejercicio físico para la mejora del estado de salud y la autonomía funcional en los adultos mayores. En el presente trabajo de tesis, se ha enfocado en estudiar el impacto del entrenamiento concurrente sobre la potencia muscular en los adultos mayores. La potencia muscular se asocia con la capacidad para mantener la independencia funcional en actividades de la vida diaria (Izquierdo y Cadore. 2014; Ramírez et al. 2014). En concordancia con lo anterior, también se ha resaltado la importancia de la potencia muscular en la reducción del riesgo de caídas en el adulto mayor (Izquierdo y Cadore. 2014). Las caídas son consideradas una de las principales causas de incapacidad de los adultos mayores (Appeadu, et al. 2023), por lo anterior se considera que identificar programas de intervención para reducir el riesgo de caídas en el adulto mayor, conducirá a una mejora sustancial en el estado funcional de las personas senescentes.

Por otro lado, se ha demostrado que, en la etapa de senectud, la potencia muscular disminuye más rápidamente a comparación de la fuerza, esto debido a factores como pérdida de masa muscular, cambios en la composición del músculo, la calidad muscular, las propiedades contráctiles de las fibras musculares y las alteraciones en la función neuromuscular (Reid y Fielding. 2012). Esta situación incrementa la relevancia para el desarrollo de la potencia muscular en los adultos mayores. Con la presente investigación se busca identificar si el entrenamiento concurrente es un protocolo con efectos positivos en la mejora de la potencia muscular en una población de adultos mayores. A la fecha, no hay estudios enfocados a identificar el impacto del ejercicio físico sobre la potencia muscular de miembros inferiores de los adultos mayores en población mexicana, por lo que el presente trabajo de tesis, podría significar el punto de inicio en estudios científicos para el desarrollo de potencia en población no deportista de México.

4. Pregunta de investigación

¿Cuál es el impacto del entrenamiento concurrente en el desarrollo de la potencia de miembros inferiores de adultos mayores?

5. Hipótesis

Un programa de entrenamiento concurrente conduce a mejoras en la manifestación de la potencia de miembros inferiores en adultos mayores

6. Objetivos generales

Determinar el impacto del entrenamiento concurrente, sobre la potencia de miembros inferiores en adultos mayores.

7. Objetivos específicos

1. Evaluar el impacto del entrenamiento concurrente sobre la potencia promedio relativa de los miembros inferiores en adultos mayores.
2. Determinar el efecto del entrenamiento concurrente sobre la potencia pico relativa de los miembros inferiores en adultos mayores.
3. Identificar el impacto del entrenamiento concurrente sobre la velocidad promedio de miembros inferiores durante la prueba de sentadillas de 30 segundos en adultos mayores.
4. Evaluar el impacto del entrenamiento concurrente sobre la velocidad pico de miembros inferiores durante la prueba de sentadillas de 30 segundos en adultos mayores.
5. Evaluar el impacto del entrenamiento concurrente sobre la fuerza general de miembros inferiores en adultos mayores.
6. Determinar el impacto del entrenamiento concurrente sobre la masa magra en miembros inferiores en adultos mayores.

8. Metodología

8.1 Diseño experimental

Se realizó un diseño de tipo cuasiexperimental pretest-posttest, sin grupo control, con un enfoque cuantitativo.

8.2 Participantes

El proyecto de estudio se inició con 29 adultos mayores (individuos mayores de 65 años) activos de la ciudad de Ensenada, Baja California. Que participaban en los programas de activación física para adultos mayores en la Universidad Autónoma de Baja California. Tras la muerte experimental la cantidad de adultos mayores descendió a 18 adultos mayores y después de los criterios de inclusión y exclusión quedaron 5 adultos mayores (5 féminas).

8.3 Criterios de inclusión y exclusión

Para ser incluidos en el estudio los participantes tuvieron que cumplir con los siguientes criterios: (1) Ser adultos mayores (de 65 años en adelante) (2) Ser considerados adultos sanos, libres de cualquier enfermedad y sin limitaciones para hacer actividad física (3) Aceptar participar en el estudio de manera voluntaria. Por otro lado, se excluyeron a los participantes que reportaron tener alguna enfermedad o limitante para realizar actividad física.

8.4 Procedimientos

Los participantes del estudio fueron reclutados del programa de actividad física para adultos mayores realizado en la Universidad Autónoma de Baja California por parte de la Facultad de Deportes de Ensenada. Inicialmente se les realizó una invitación verbal en donde se les explicó en qué consistía el programa de actividad física, los criterios de inclusión y exclusión y los horarios. Después los adultos mayores interesados procedieron a firmar una carta de consentimiento informado. Posteriormente se procedió a realizar las evaluaciones iniciales e inmediatamente después se dio inicio al programa de actividad física. Finalmente, al concluir con el programa se realizaron las evaluaciones finales.

8.5 Evaluaciones

8.5.1 Evaluaciones antropométricas

Para valorar la composición corporal en los participantes, se procedió a realizar una prueba de bioimpedancia eléctrica, la cual consiste en aplicar una pequeña corriente eléctrica a través de los electrodos bajo el principio de conductividad eléctrica en el cual la grasa tiene una menor conductividad. Esto se realizó en un equipo de alta confiabilidad y reproducibilidad (valor) marca INBODY modelo 770 con el software looking body 120. Para realizar dicha prueba se les solicitó a los AM presentarse en ayunas de agua y alimento por un periodo de y 8 horas respectivamente.

El procedimiento de determinación de composición corporal, se realiza de acuerdo a las instrucciones emitidas por el fabricante. Primeramente, se registran los datos demográficos (incluyendo la talla, y edad) de la persona en el software looking body 120. Posteriormente, el participante sube descalzo y sin ningún objeto metálico (pulseras, aretes, medallas, anillos, etc.) al analizador de composición corporal, posiciona las extremidades, para tener contacto en todo momento con los electrodos. Una vez tomada la posición correcta, autoevaluada por el sistema del propio analizador, se inicia automáticamente la determinación de la composición corporal del individuo.

8.5.2 Evaluación de la potencia y fuerza de miembros inferiores

8.5.2.1. Sit-to-stand (Senior Fitness Test)

Con el objetivo de evaluar la fuerza en miembros inferiores, se realizó el test de sentadillas o “sentarse y levantarse de una silla” de la batería de pruebas de Senior Fitness Test (SFT) De acuerdo a Rikli y Jones (2013) la prueba consiste en contar la cantidad de veces que puede pararse completamente desde una posición sentada en 30 segundos con los brazos cruzados por delante del pecho y para realizarla se requiere un cronómetro y una silla plegable o de respaldo recto con una altura del asiento de 17 pulgadas recargada contra la pared para prevenir de que se resbale, después se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Pedirle al participante que se siente en la parte media de la silla, manteniendo la espalda recta, pies apoyados en el suelo y los brazos cruzados en el pecho.
2. A la señal de “ya” el participante deberá levantarse completamente y volver a la posición inicial.
3. Previo a la evaluación se sugiere realizar una demostración lenta para asegurar una buena ejecución y posteriormente una demostración más rápida para mostrar que el

objetivo es hacer lo mejor que pueda dentro de los límites de la seguridad, posteriormente se le pide uno o dos intentos para que el participante practique.

4. La puntuación es el número total de veces que el participante se para completamente en 30 segundos, si este está a más de la mitad de levantarse cuando se acaba el tiempo contará de la misma manera que una completa.



Figura 4. Enseñanza previa de cómo realizar la prueba de sentarse y pararse de la silla (Sit-to-stand de la batería senior fitness test).

8.5.2.2. GymAware.

A su vez se evaluó la potencia de miembros inferiores utilizando como herramienta el dispositivo GymAware con el software de la versión v2.9.4., que como lo menciona el artículo “How does it Work” (2021) de su página de internet, este es un transductor lineal de posición, el cual convierte el desplazamiento lineal de un objetivo en señales eléctricas, midiendo de esta manera el desplazamiento del objeto sobre el tiempo, obteniendo de manera directa la velocidad, este tiene un cable que junto a una correa se ata a un objeto y obtiene sus datos a través del desplazamiento de este mientras se realiza el ejercicio. El dispositivo posee un cable retráctil accionado por un resorte enrollado alrededor de una polea acoplada mecánicamente a un codificador óptico, el cual cuando se tira de la correa y desenrolla el carrete, permite la medición de la distancia del desplazamiento de la correa, calculada por el giro de la polea, el cual fue atado con su strap de velcro a una faja de levantamiento de pesas que se le colocaba al participante durante la evaluación de sentarse y levantarse de una silla, el dispositivo estaba colocado al lado derecho del participante y se mantuvo adherido y colocado magnéticamente a un disco de 10 libras en el suelo, siguiendo la metodología realizada por Sherwood, et al. (2019). Con la velocidad del desplazamiento de la correa se midió la potencia de manera indirecta utilizando el peso del individuo durante la fase de ascenso (levantarse de la silla) de la prueba. Previo a la realización del test de

sentadillas de la batería Senior Fitness Test, se les pidió que realizaran 3 repeticiones con el fin de identificar si el dispositivo estaba calibrado y el correcto entendimiento de la ejecución. Durante la realización había un observador que se encargaba de contar las repeticiones realizadas de manera correcta. Los datos quedaron registrados en el software del dispositivo Gymaware.

Para el registro de las variables de interés, se consideró los datos de la primera y última repetición del test de sentadillas de 30 segundos de la batería de Senior Fitness Test (Rikli et al. 2002). Este procedimiento se realizó con el objetivo de trabajar con los datos relativos de cada participante, puesto que el número de repeticiones de cada individuo fue diferente.

8.5.3. Programa de entrenamiento concurrente

El entrenamiento concurrente ha demostrado inducir adaptaciones similares en la fuerza y potencia muscular al igual que mejoras similares respecto a la resistencia cardiorrespiratoria a comparación del entrenamiento de una sola modalidad (entrenamiento de fuerza o entrenamiento de resistencia) (Markov, Hauser y Chaabene. 2022). El programa de entrenamiento concurrente consistió en un total de 36 sesiones de 3 días por semana con una duración de 60 minutos. La distribución de las cargas semanales fue la siguiente: 1 sesión de entrenamiento de ejercicio aeróbico y 2 sesiones de entrenamiento de fuerza. El entrenamiento aeróbico consistió en distintas actividades, iniciando por 5 minutos de calentamiento, 10 minutos de caminata, 30 minutos de danza y 10 minutos de actividades lúdicas y al final una vuelta a la calma de 5 minutos. Las sesiones de fuerza consistieron durante las primeras 2 semanas en 4 series de 15 repeticiones, realizando 8 ejercicios con su propio peso corporal que involucran grandes grupos musculares, a partir de la semana 3 se realizaron ejercicios en la sala de musculación del gimnasio de la Facultad de Deportes que implicaron una combinación de ejercicios realizados en máquinas, para tren inferior se utilizó la prensa, la máquina de extensión de pierna, de flexión de pierna acostado y elevación de talones sentado, y para tren superior se utilizó una máquina de empuje horizontal (press de pecho), tracción vertical (jalón al pecho), tracción horizontal (remo sentado) y extensión de tríceps con polea alta; con pesos libres (mancuernas y barra z) como el empuje vertical (press de hombro), curl de bíceps, extensión de tríceps con polea alta, y ejercicios de peso corporal con el uso de TRX, como la sentadilla y el remo invertido, en donde en los pesos libres se utilizaron pesos desde discos de 5 lbs hasta discos de 40 lbs, mancuernas de 5 lbs hasta 20 lbs, las máquinas que utilizaban discos iban desde 5 lbs hasta 90 lbs y las máquinas con placas de peso integradas de 10 lbs. Los ejercicios se realizaron a una intensidad de entre el 11 y el 13 de la escala de borg. La figura 5 ilustra las sesiones de entrenamiento en la sala de musculación y en la duela del gimnasio.



Figura 5. Sesión de entrenamiento en la sala de musculación y en el gimnasio de la facultad de deportes de la Universidad Autónoma de Baja California. Unidad Valle Dorado.

8.6 Análisis estadístico

Los datos de la presente tesis se presentan como promedio \pm desviación estándar (DE). Se realizó una prueba t-Student no paramétrica para determinar diferencias en las variables de potencia pico, potencia promedio, velocidad promedio, fuerza de miembros inferiores y masa magra de miembros inferiores antes y después de la intervención, el análisis estadístico y la elaboración de las gráficas se realizó con el Software GraphPad Prism 8.0.

9. Resultados

Las variables demográficas y descriptivas de los participantes se muestran en la tabla 1

Tabla 1. Variables demográficas de los participantes de estudio (n=5)		
Variable	Promedio	Desviación estándar
Edad (años)	67	2
Índice de masa corporal (Kg/m ²)	27	6
Masa muscular total (kg)	21	1
Masa grasa corporal (%)	38	11
Ángulo de fase	5	1

La potencia pico relativa de la primera repetición fue de 3.7 ± 0.28 W/Kg, para la misma variable en post entrenamiento, se registraron valores de 7.7 ± 1.86 W/Kg, identificándose una diferencia significativa (IC95%: 2.057-5.94; $R^2=0.73$) (Figura 4A). Por su parte, potencia pico relativa para la última repetición previo a la intervención fue de 3.58 ± 0.38 W/Kg, mientras que los datos en post entrenamiento fueron de 8.03 ± 1.03 W/Kg, al igual que la anterior, se observó una diferencia significativa IC95%:3.048 - 5.860; $R^2=0.86$) (Figura 4B).

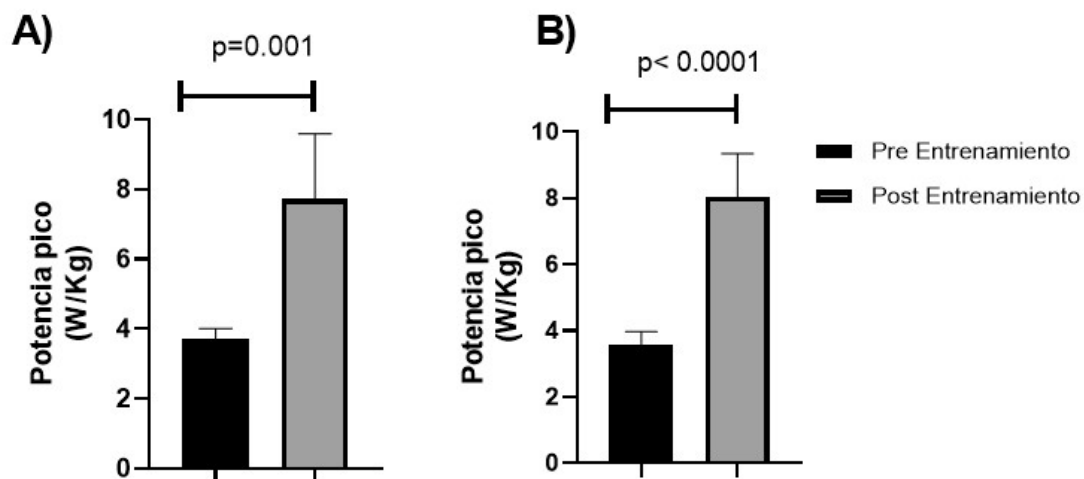


Figura 6. Potencia pico relativa registrada en la primera repetición del test de sentadillas de 30 segundos (A), potencia pico relativa de la última repetición durante de sentadillas de 30 segundos (B).

La potencia promedio relativa en la primera repetición previo a la intervención fue de 2.19 ± 0.34 W/Kg, por su parte en post intervención para la misma variable se registró un promedio de 4.01 ± 1.55 W/Kg, identificándose una diferencia significativa (IC95%: 0.1432-3.493 $R^2=0.43$) (Figura 5A). Para el mismo test, la potencia promedio de la última repetición pre entrenamiento fue de 2.19 ± 0.26 W/Kg, mientras que la potencia promedio relativa de la última repetición en post entrenamiento fue de 4.05 ± 1.01 W/Kg, al igual que la primera, repetición, se observó una diferencia estadística significativa entre los valores pre, y post tratamiento (IC95%: 0.7747 - 2.937 $R^2=0.66$) (Figura 5B).

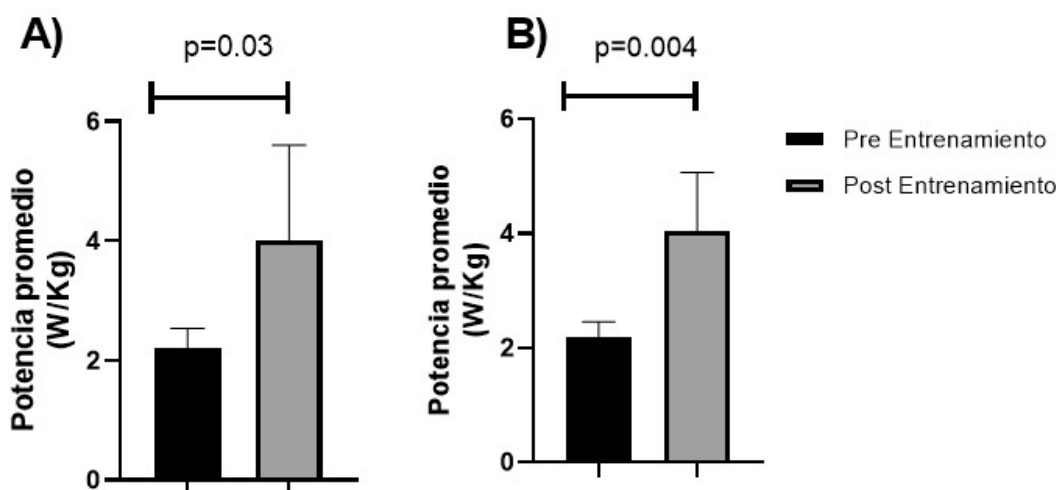


Figura 7. Potencia promedio relativa registrada en la primera repetición del test de sentadillas de 30 segundos (A), potencia promedio relativa de la última repetición durante de sentadillas de 30 segundos (B).

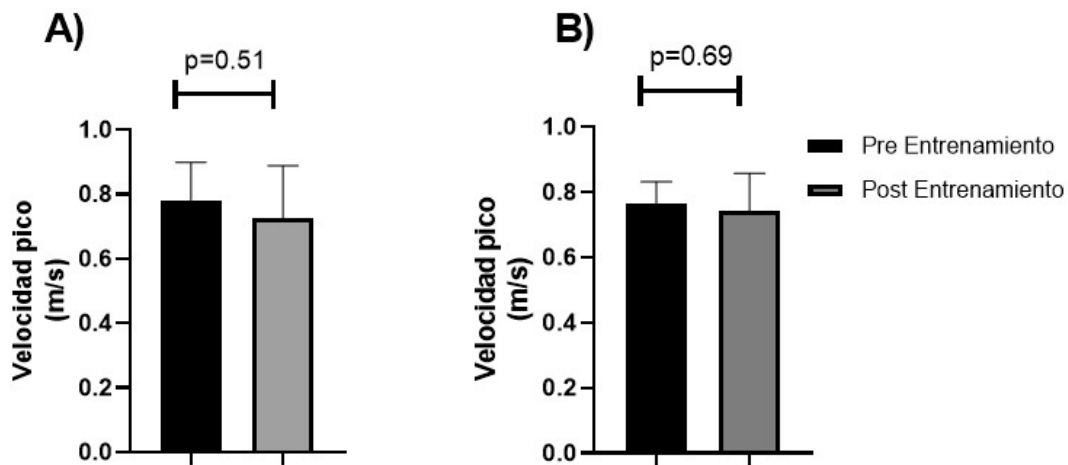


Figura 8. Velocidad pico registrada en la primera repetición del test de sentadillas de 30 segundos (A), velocidad pico de la última repetición durante de sentadillas de 30 segundos (B).

La velocidad pico de la primera repetición pre intervención fue de 0.78 ± 0.11 m/s, la velocidad pico post intervención registrada en la primera repetición fue de 0.72 ± 0.16 m/s, a diferencia de los datos de potencia, para la velocidad pico, no se encontró diferencia significativa ($p=0.51$; IC95%: $-0.2626 - 0.1506$, $R^2=0.04$) (Figura 8A). Por su parte la velocidad pico de la última repetición en el test de sentadillas de 30 segundos previo al entrenamiento fue de 0.76 ± 0.06 m/s, mientras que, en post entrenamiento, los valores para la misma variable fueron de 0.74 ± 0.11 m/s, no se encontró diferencia estadísticamente significativa ($p=0.69$; IC95%: $-0.1614 - 0.1134$, $R^2=0.01$) (Figura 8B).

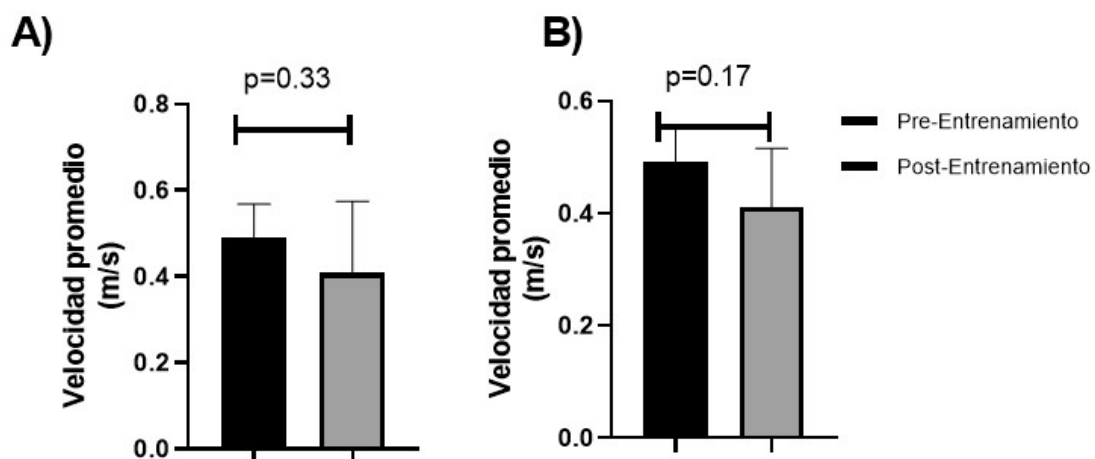


Figura 9. Velocidad promedio registrada en la primera repetición del test de sentadillas de 30 segundos (A), velocidad promedio de la última repetición durante de sentadillas de 30 segundos (B).

Por otra parte, la velocidad promedio de la primera repetición pre intervención fue de 0.49 ± 0.07 m/s, mientras que la velocidad promedio post intervención registrada en la primera

repetición fue de 0.40 ± 0.16 m/s, no se encontró diferencia significativa entre los diferentes periodos ($p=0.33$; IC95%: $-0.2723 - 0.1043$, $R^2=0.11$) (Figura 9A). Por su parte la velocidad promedio de la última repetición en el test de sentadillas de 30 segundos previo al entrenamiento fue de 0.49 ± 0.05 m/s, mientras que, en post entrenamiento, los valores para la misma variable fueron de 0.41 ± 0.10 m/s, no se encontró diferencia estadísticamente significativa ($p=0.17$; IC95%: $-0.2033 - 0.04328$, $R^2=0.21$) (Figura 9B). En referencia a la fuerza de miembros inferiores, previo al entrenamiento concurrente, los participantes realizaron 15.4 ± 1.9 repeticiones en el test de sentadillas, mientras que posterior al entrenamiento, se registró un promedio de repeticiones de 19.4 ± 1.5 , se identificó una diferencia estadísticamente significativa IC95%: $1.453 - 6.547$, $R^2=0.62$) (Figura 10).

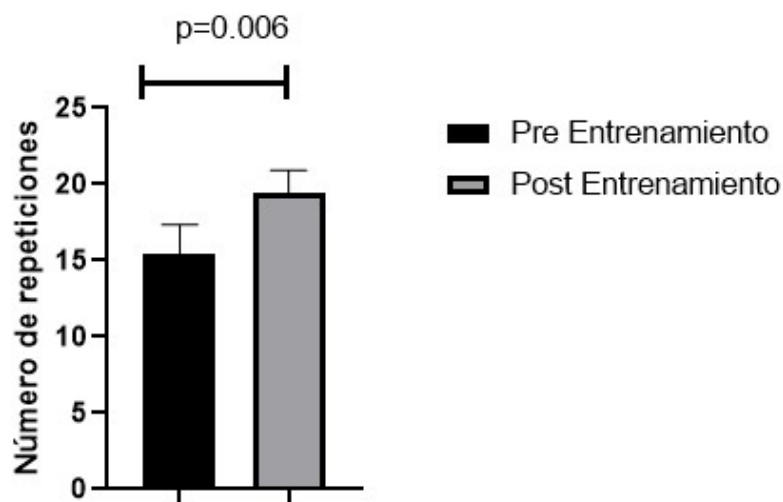
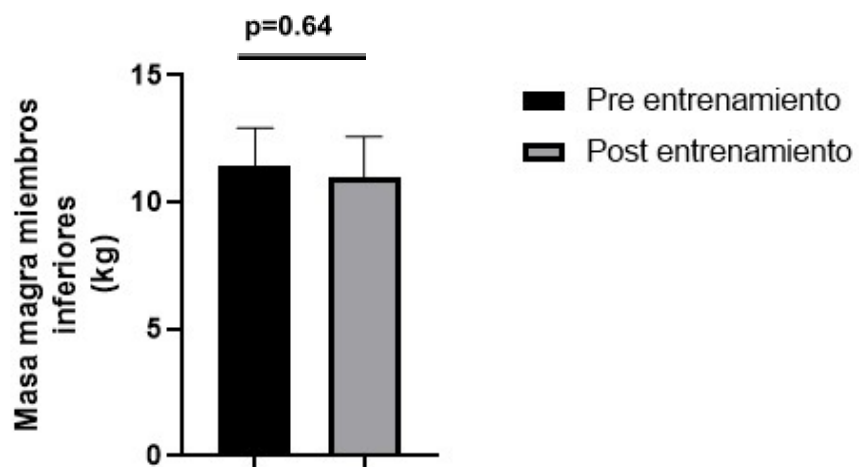


Figura 10. Repeticiones de sentadillas durante el test de 30 segundos de la batería de Senior Fitness Test.

Finalmente, la masa magra de los miembros inferiores, previo al entrenamiento fue de 11.4 ± 1.5 kg, para el periodo post intervención, se observó un valor promedio de la misma variable de 11.0 ± 1.5 kg, la comparación entre ambas condiciones no arrojó una diferencia significativa ($p=0.64$; IC95%: $-2.659 - 1.859$, $R^2=0.02$) (Figura 11).



10. Discusión

El presente trabajo de tesis, estuvo enfocado a determinar el efecto del entrenamiento concurrente sobre la potencia de miembros inferiores de adultos mayores sanos del Municipio de Ensenada. Los resultados indican que el programa aplicado mejora la fuerza general, y la potencia relativa en miembros inferiores de los participantes. Sin embargo, no se observaron cambios en la masa magra en miembros inferiores como consecuencia del entrenamiento.

La masa magra, implica los componentes de masa muscular esquelética, agua corporal y masa de órganos (Nuijten, et al. 2022), autores han indicado, al considerar la proporción de masa muscular respecto a los demás componentes, que la masa magra puede utilizarse como un marcador directo de la masa muscular esquelética (Nuijten, et al. 2022), para la presente tesis, se utiliza el concepto antes señalado. Por lo que nos permite indicar que la masa muscular de miembros inferiores no fue modificada por el entrenamiento concurrente. Existen factores que pueden explicar parcialmente los nulos cambios en la masa muscular, uno de ellos es la dieta.

Durante el presente proyecto, no se implementó un plan alimenticio, o un programa de educación nutricional. Esta falta de atención a la dieta pudo haber influido en la ausencia de incremento en la masa muscular, la anterior sugerencia, está sustentada por los antecedentes publicados que identificaron una adecuada disponibilidad de aminoácidos, como factor esencial para el aumento de la masa muscular (McArdle, Katch y Katch, 2015; Fujita et al. 2006; Koopman, et al. 2009). Asimismo, se ha identificado que el suministro adecuado en carbohidratos facilita los procesos anabólicos, que se reflejan en un aumento de masa muscular (Koopman, et al. 2009), el efecto anterior, además del suministro energético necesario para la síntesis de proteínas, se solventa al considerar los efectos anabólicos de la insulina. Además de la dieta, no se debe descartar al tipo de entrenamiento realizado durante la intervención como un factor regulador para generar crecimiento de masa muscular. En la presente tesis, se aplicó un programa de entrenamiento que implicó la utilización de una carga constante, con excepción de las 2 semanas introductorias. En general, la intensidad del ejercicio durante todo el programa de intervención fue moderada (niveles 11 a 13 de la escala de esfuerzo percibido de Borg), con una frecuencia de entrenamiento de fuerza de 2 veces por semana. Nuestros resultados, son concordantes con otros autores, que reportaron nulos incrementos en la masa muscular al aplicar entrenamientos de fuerza 2 veces a la semana en adultos mayores (Murlasits, et al. 2012), lo anterior, resalta un umbral mínimo requerido para generar un aumento en la masa muscular de adultos mayores sanos. Finalmente, no descartamos que el método (bioimpedancia) utilizado para evaluar la composición corporal, no sea lo suficientemente sensible para detectar cambios en la masa muscular de los miembros inferiores. En concordancia con este, autores han demostrado que el entrenamiento concurrente aplicado durante 12 semanas, genera un incremento en el grosor de los músculos vasto lateral, vasto medial, vasto interno, y recto femoral, en su estudio los investigadores utilizaron la técnica de ultrasonido (Cadore, et al. 2013). Considerando lo anterior, además de la infraestructura disponible en la institución no descartamos en estudios futuros del mismo enfoque evaluar el perímetro máximo de muslo por medio de antropometría ISAK

Por otro lado, en el presente estudio se observó un aumento significativo en la fuerza general de miembros inferiores posterior al entrenamiento concurrente. Nuestros resultados, son concordantes con recientes trabajos de meta-análisis (Markov et al. 2023). Los nulos efectos en la masa muscular antes descritos, nos conducen a implicar a las adaptaciones neuromusculares, como los principales mecanismos, para explicar la ganancia de fuerza general en miembros inferiores. Como fue mencionado en el marco teórico del presente trabajo, es conocido que el entrenamiento concurrente provoca adaptaciones neurales como: una mejor eficiencia neural en patrones de reclutamiento, incremento en la excitabilidad de las neuronas motoras, mejor sincronización de unidades motoras, que implica una mayor frecuencia de disparo, además, también se ha indicado que el entrenamiento concurrente conduce a una reducción en los mecanismos inhibitorios generados por el órgano tendinoso de Golgi (McArdle, Katch y Katch, 2015). Finalmente, está demostrado que el entrenamiento concurrente aplicado, por 12 semanas en adultos mayores, induce a una economía neuromuscular (Cadore, et al. 2013). Lo anterior nos permite interpretar una posible adaptación neuromuscular en nuestra población, adaptación que condujo a una ganancia de fuerza general de los miembros inferiores.

Aunado a las variables anteriormente descritas, los resultados obtenidos indican que el entrenamiento concurrente aplicado no modificó la velocidad concéntrica. Este nulo efecto puede deberse a la naturaleza del programa aplicado, concretamente, durante todas las sesiones no se solicitó a los participantes hacer ejercicios explosivos o altas velocidades de ejecución. En concordancia con este planteamiento, Ramírez, et al. (2014) trabajaron con tres grupos, un grupo control -sin entrenamiento-, uno grupo realizaría el entrenamiento de manera lenta (3 segundos en la fase concéntrica y 3 segundos en la fase excéntrica), el tercer grupo realizaría el entrenamiento a altas velocidades (con la intención de moverse lo más rápido posible en la fase concéntrica y 3 segundos en la fase excéntrica), además de agregar ejercicios balísticos (lanzamiento de balón medicinal y salto contra movimiento), con este diseño experimental los autores reportaron que en ambos grupos ejercitados se identificó un incremento significativo en la fuerza, más sin embargo, solo en el grupo que realizaron ejercicios explosivos, se observó una mejora en los ejercicios que requieren altas velocidades de ejecución como lo es la prueba de lanzamiento de balón medicinal desde sentado, en la prueba de caminata lo más rápido posible de 10 metros, y en la prueba de levantarse y andar (Ramírez, et al. 2014).

Por otro lado, es oportuno señalar que la manifestación de la velocidad durante un gesto motor contra resistencia, se asocia con el fenómeno de índice de manifestación de fuerza (RFD, por sus siglas en inglés, la RFD se refiere a la habilidad del sistema neuromuscular para incrementar la fuerza contráctil desde un nivel bajo o de descanso cuando. La importancia del tipo entrenamiento y su velocidad de ejecución durante los ejercicios son de suma importancia para modificar el RFD, metodológicamente se ha señalado que para generar cambios en la RFD, se requiere realizar trabajo de fuerza máxima o con cargas pesadas que hagan la ejecución del movimiento lento y trabajo con cargas más ligeras que permitan la ejecución de movimientos rápidos (Cormie, et al. 2011; Haff, 2018; Haff y Nimphius, 2012). Los participantes del presente estudio no realizaron ejercicios con las características antes mencionadas, lo anterior nos permite asumir que no se tendrá un impacto considerable en el índice de manifestación de la fuerza, factor asociado a la velocidad concéntrica.

Finalmente, consideramos que la ganancia de potencia observada en los participantes, sea consecuencia de un incremento de la fuerza muscular, más que de la velocidad, de hecho, autores han manifestado que en el caso de los adultos mayores (al igual que en las demás

poblaciones) el desarrollo de potencia en principiantes o personas no entrenadas se da por un incremento en la base de fuerza (Triplett y Lloyd, 2018).

11. Conclusión

El presente trabajo de tesis concluye que el entrenamiento concurrente en el que predomina el entrenamiento de fuerza tiene un impacto positivo en la potencia de miembros inferiores en adultos mayores tras 36 sesiones de entrenamiento. Los cambios en la potencia muscular con el entrenamiento concurrente, no se acompañan de modificaciones en la masa muscular de miembros inferiores, que sugiere cambios neuromusculares más que morfológicos. Las limitaciones y perspectivas que se tuvieron fueron que no se llevó un control de la alimentación, que pudo influir en el recambio proteico y no se monitorizó el ciclo circadiano, un factor importante que regula la manifestación de potencia. Además, no descartamos que la duración de la intervención aplicada en la presente tesis pueda ser un factor limitante para modificar la velocidad concéntrica en los miembros inferiores.

12. Referencias

1. Alvarado, A. M. y Salazar, A. M. (2014). Análisis del concepto de envejecimiento. *Gerokomos*, 25(2), 57-62.
2. Appeadu, M. K., & Bordoni, B. (2020). Falls and Fall Prevention in Older Adults. StatPearls. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560761/>
3. Batsis, J. A. y Buscemi, S. (2011). Sarcopenia, Sarcopenic Obesity and Insulin Resistance. En C. Corniger (ed) *Medical Complications of Type 2 Diabetes* (pp. 233-256). IntechOpen.
4. Bompa, O.T. y Buzzichelli, C.A. (2022). *Periodization of Strength Training for Sports*. (4th ed.). Human Kinetics.
5. Bompa, O.T. y Buzzichelli, C.A. (2019). *Periodization: Theory and Methodology of Training*. (6th ed.). Human Kinetics.
6. Bompa, O.T. y Buzzichelli, C.A. (2015). *Periodization Training for Sports*. (3rd ed.). Human Kinetics.
7. Cadore, E. L., Izquierdo, M., Pinto, S. S., Alberton, C. L., Pinto, R. S., Baroni, B. M., Vaz, M. A., Lanferdini, F. J., Radaelli, R., González-Izal, M., Bottaro, M., & Krusel, L. F. M. (2012). Neuromuscular adaptations to concurrent training in the elderly: effects of intrasession exercise sequence. *Age*, 35(3), 891-903.
8. Calero-Saa, P. A. y Chaves-García, M. A. (2016) Cambios fisiológicos de la aptitud física en el envejecimiento. *Revista Investigación en Salud Universidad de Boyacá*. 3(2), 176-194.
9. Coelho, H.; Azzolino, D.; Calvani, R.; Gonçalves, I.; Tosato, M.; Landi, F.; Cesari, M.; Picca, A.; Marzetti, E. (2022). Lower-Limb Muscle Power is Negatively Associated with Protein Intake in Older Adults: A Cross-Sectional Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19. 2-10.
10. Cormie, P.; McGuigan, M. R.; Newton, R. U. (2011a) Developing Maximal Neuromuscular Power: Part 1 - Biological Basis of Maximal Power Production. *Sports Medicine*. 41(1), 17-38.
11. Cormie, P.; McGuigan, M. R.; Newton, R. U. (2011b) Developing Maximal Neuromuscular Power: Part 2 - Training Considerations for Improving Maximal Power Production. *Sports Medicine*. 41(1), 125-146.
12. Concha-Cisternas, Y. F., Vargas-Vitoria, R., & Celis-Morales, C. A. (2021). Morphophysiological changes and fall risk in the older adult: a review of the literature. *Salud/Salud Uninorte*, 36(2), 450-470.

13. De Jong, J.C.; Attema, B.; Van Der Hoek, M.; Verschuren, L.; Caspers, M.; Kleemann, R.; Van Der Leij, F.; Van den Hoek, A.; Nieuwenhuizen, A.; Keijer, J. (2023). Sex Differences in skeletal muscle-aging trajectory: same processes, but with a different ranking. *GeroScience*. 46. 2367-2386.
14. Fujita, S., y Volpi, E. (2006). Amino Acids and Muscle Loss with Aging. *The Journal Of Nutrition*, 136(1), 277S-280S.
15. Gaviria, D. (2007). Envejecimiento: teorías y aspectos moleculares. *Revista médica de Risaralda*, 13(2), 1-6.
16. González de Gago, J. (2010). Teorías del envejecimiento. *Tribuna del investigador*, 11(1-2), 42-66.
17. Grgic, J.; Trexler, E.; Lazinec, B.; Pedisic, Z. (2018). Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 15 (11), 1-10.
18. Haff, G.G. (2018). Periodización e integración de la potencia. En M. Mcguigan (Ed). *El desarrollo de la Potencia: Ejercicios, programas y protocolos*. (pp. 45-77). Ediciones Tutor, S.A.
19. Haff, G. G., y Nimphius, S. (2012). Training Principles for Power. *Strength And Conditioning Journal*, 34(6), 2-12.
20. Harvey, J.; Chastin, S.; Skelton, D. (2013). Prevalence of Sedentary Behavior in Older Adults: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 10. 6645-6661.
21. Hernández, A. (2015). Efecto del ritmo circadiano sobre la fuerza y la potencia muscular: una revisión. Trabajo de fin de grado. Murcia: Universidad de Murcia.
22. How Does it Work (2021). Gymaware Flex. Recuperado de: <https://gymaware.zendesk.com/hc/en-us/articles/360001422555-How-Does-it-Work-#:~:text=Using%20its%20strap%20and%20tether,implement%20effective%20Velocity%20Based%20Training>.
23. Huebner, M.; Lawrence, F.; Lusa, L. (2022). Sex Differences in Age-Associated Rate of Decline in Grip Strength When Engaging in Vigorous Physical Activity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 19 (11009) 1-11.
24. Izquierdo, M. y Cadore, E. (2014). Muscle power training in the institutionalized frail: a new approach to counteracting functional declines and very late-life disability. *Current Medical Research & Opinion*. 30(7), 1385-1390.
25. Jackson, A.; Sui, X.; Hébert, J.; Church, T.; Blair, S. (2009). Role of Lifestyle and Aging on the Longitudinal Change in Cardiorespiratory Fitness. *Archives of Intern Medicine*. 169(19). 1781-1787.
26. Jones, M.D.; Wewege, M.A.; Hackett, D.A.; Keogh, J.W.L. Hagstrom, A.D. (2020). Sex Differences in Adaptations in Muscle Strength and Size Following Resistance Training in Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*. 1-15.
27. Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2012). *Physiology of Sport and Exercise* (5th ed.). Human Kinetics.
28. Koopman, R., & Van Loon, L. J. C. (2009). Aging, exercise, and muscle protein metabolism. *Journal Of Applied Physiology*, 106(6), 2040-2048.
29. Kraemer, J. W., & Looney, P. W. (2012). Underlying mechanisms and physiology of muscular power. *Strength and Conditioning Journal*, 34(6), 13-19.
30. Lally, M. y Valentine, S. (2023). *Lifespan Development A Psychological Perspective*. LibreTexts.
31. Landen, S.; Hiam, D.; Voisin, S.; Jacques, M.; Lamon, S.; Eynon, N. (2023). Physiological and molecular sex differences in human skeletal muscle in response to exercise training. *The Journal of Physiology*. 601(3), 419-434.
32. Landinez, N. S.; Contreras, K.; Castro, A. (2012). Proceso de envejecimiento, ejercicio y fisioterapia. *Revista Cubana de Salud Pública*. 38(4), 562-580.

33. Lloyd, R.S. y Faigenbaum, A.D. (2016). Age- and Sex-Related Differences and Their Implications for Resistance Exercise. En G.G. Haff y N.T. Triplett (Eds.). *Essentials of Strength Training and Conditioning*. (pp. 135-154). Human Kinetics.
34. MacLaren, D. y Morton, J. (2012). *Biochemistry for Sport and Exercise Metabolism*. Wiley-Blackwell.
35. Maffiuletti, N. A.; Aagaard, P.; Blazevich, A. J.; Folland, J.; Tillin, N.; Duchateau, J. (2016). Rate of force development: Physiological and Methodological Considerations. *European Journal of Applied Physiology*. 116, 1091-1116.
36. Maggio, M.; Lauretani, F.; Ceda, G.; Bandinelli, S.; Ling, S.; Metter, J.; Artoni, A.; Carassale, L.; Cazzato A.; Ceresini, G.; Guralnik, J.; Basaria, S.; Valenti, G.; Ferrucini, L. (2007). Relationship Between Low Levels of Anabolic Hormones and 6-Year Mortality in Older Men: The Aging in the Chianti Area (InCHIANTI) Study. *Archives of Intern Medicine*. 167(20). 2249-2254.
37. Mansour, G. B.; Kacem, A.; Ishak, M.; Grélot, L.; Ftaiti, F. (2021). The effect of body composition on strength and power in male and female students. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 13(150), 1-11.
38. Markov, A.; Hauser, L.; Chaabene, H. (2023). Effects of Concurrent Strength and Endurance Training on Measures of Physical Fitness in Healthy Middle-Aged and Older Adults: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 53, 437-455.
39. McArdle, W. D.; Katch, F. I.; Katch, V. L. (2015) *Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance*. (8th ed.). Wolters Kluwer Health.
40. McBride, J. M. (2018). Naturaleza de la potencia. En M. Mcguigan (Ed.), *El desarrollo de la Potencia: Ejercicios, programas y protocolos* (pp. 11-24). Ediciones Tutor, S.A.
41. McGinnis, P. M. (2013). *Biomechanics of Sport and Exercise*. (3ra. ed.). Human Kinetics.
42. McKinnon, N. B.; Connelly, D.M.; Rice, C. L.; Hunter, S. W.; Doherty, T.J. (2017) Neuromuscular contributions to age-related reduction in muscle power: Mechanisms and potential role of high velocity power training. *Ageing Research*. 35, 147-154.
43. Moir, G. L. (2016). *Strength and Conditioning: A Biomechanical Approach*. Jones & Bartlett Learning.
44. Mora, R.; García, J.; López, Á.; Ortega, J. F.; Fernández, V. E. (2012) Caffeine Ingestion Reverses the Circadian Rhythm Effects on Neuromuscular Performance in Highly Resistance-Trained Men. *PLoS ONE*. 7(4), 1-9.
45. Murlasits, Z.; Reed, J.; Wells, K. (2012) Effect of resistance training frequency on physiological adaptations in older adults. *Journal of Exercise Science & Fitness*. 10, 28-32.
46. Nakao, R.; Nikawa, T.; Oishi, K. (2017) The skeletal muscle circadian clock: current insights. *ChronoPhysiology and Therapy*. 7, 47-57.
47. Navarro, F. V. (2003). Modelos de planificación según el deportista y el deporte. *Revista digital de Buenos Aires* (67) 1-18.
48. Nuijten, M. A.; Eijsvogels, T. M.; Montpellier, V.M.; Janssen, I. M.; Hazebroek, E. J.; Hopman, M. ,T. (2022). The magnitude and progress of lean body mass, fat-free mass, and skeletal muscle mass loss following bariatric surgery: A systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*. 23, 1-17.
49. Olmos, M. J., Martínez, G. J., & González, M. J. (2007). Envejecimiento músculo-esquelético. *Revista Española de Enfermedades Metabólicas Óseas*, 16(1), 1-7.
50. Organización Mundial de la salud (2022). Envejecimiento y salud. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>.
51. Pérez, V. y Sierra, F. (2009). Biología del envejecimiento. *Revista Médica de Chile*. 137, 296-302.
52. Ramírez, R.; Castillo, A.; De la Fuente, C. I.; Campos, C.; Andrade, D. C.; Álvarez, C.; Martínez, C.; Castro, M.; Pereira, A.; Marques, M. C.; Izquierdo, M. (2014). High-Speed resistance training is more effective than low-speed resistance training to increase functional capacity and muscle performance in older women. *Experimental Gerontology*. 58, 51-57.

53. Radillo, A. L. (2010). El envejecimiento desde un enfoque molecular. En L. M. Guitérrez Robledo y J. H. Gutiérrez Ávila (Eds.), *Envejecimiento humano: Una visión transdisciplinaria* (pp. 47-55). Instituto de Geriátria.
54. Reid, K. F. y Fielding, R. A. (2012). Skeletal Muscle Power: A Critical Determinant of Physical Functioning in Older Adults. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 40(1), 4-12.
55. Rikli, R. E. y Jones, C. J. (2002). Measuring functional. *The Journal on Active Aging*. 25-30.
56. Rikli, R. E. y Jones, C. J. (2013). *Senior fitness test manual*. (2nd ed.). Human Kinetics.
57. Rico, M. G.; Oliva, D.; Vega, G.B. (2018). Envejecimiento: algunas teorías y consideraciones genéticas, epigenéticas y ambientales. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*. 56(3), 287-294.
58. Salech, F.; Jara, R.; Michea, L. (2012) Cambios fisiológicos Asociados al Envejecimiento. *Revista Médica Clínica Las Condes*. 23(1), 19-29.
59. Saladin, K. S.(2013). *Anatomía y fisiología: La unidad entre forma y función* (6ta ed). McGraw-Hill Education.
60. Sherwood, J. J., Inouye, C., Webb, S. L., Jenny, O. (2019). Reliability and Validity of the Sit-to-Stand as Muscular Power Measure in Older Adults. *Journal of Aging and Physical Activity*. 1-12.
61. Taylor, A.W. y Johnson, M. J. (2008). *Physiology of Exercise and Healthy Aging*. Human Kinetics.
62. Teo, W.; Newton, M. J.; McGuigan, M. R. (2011). Circadian rhythms in exercise performance: Implications for hormonal and muscular adaptation. *Journal of Sport Science and Medicine*. 10, 600-606.
63. Tumkur Anil Kumar, N.; Oliver, J.L.; Lloyd, R.S.; Pedley, J.S.; Radnor, J.M. (2021) The influence of Growth, Maturation and Resistance Training on Muscle-Tendon and Neuromuscular Adaptations: A Narrative Review. *Sports*. 9(59), 1-24.
64. Triplett, N.T., Lloyd, R. S. (2018). Entrenamiento de la potencia en diferentes poblaciones. En M. McGuigan (Eds.). *El desarrollo de la Potencia: Ejercicios, programas y protocolos*. (pp. 79-99). Ediciones Tutor, S.A.
65. Weinert, B. T. y Timiras, P. S. (2003). Physiology of Aging Invited Review: Theories of aging. *Journal of Applied Physiology*, 95, 1706-1716.
66. Zatsiorsky, V. M.; Kraemer, W.J.; Fry, A. C. (2021) *Science and practice of strength training*. (3rd ed.) Human Kinetics.
67. Zhang, X.; Dube, T. J.; Esser, K. A. (2009) Working around the clock: circadian rhythms and skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*. 107(5), 1647-1654.