

[ r e v i s i ó n ]

# El papel de la nutrición en la prevención y manejo de la sarcopenia en el adulto mayor

Ricardo Rendón-Rodríguez<sup>1</sup>, Iván Armando Osuna-Padilla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Latinoamericana Campus Cuernavaca, Morelos. México. <sup>2</sup>Centro de Investigación de Enfermedades Infecciosas, Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, Ciudad de México. México.

## Palabras clave

sarcopenia, nutrición, suplementación nutricional, actividad física

## >>RESUMEN

La sarcopenia es un trastorno geriátrico multifactorial que se caracteriza por una reducción de la masa muscular acompañada de una disminución en su funcionalidad, las cuales originan discapacidad, pérdida de la autonomía y mayores tasas de mortalidad en la población geriátrica. El objetivo del presente manuscrito es realizar una revisión de la literatura sobre los criterios diagnósticos de la sarcopenia propuestos por los distintos organismos internacionales, analizando las diferentes estrategias de abordaje nutricional y de estilo de vida estudiados en la actualidad.

*Nutr Clin Med 2018; XII (1): 23-36*  
DOI: 10.7400/NCM.2018.12.1.5060

## Key words

sarcopenia, nutrition, dietary supplementation, physical activity

## >>ABSTRACT

Sarcopenia is an important geriatric syndrome consisting of age-related decline in muscle mass and function, that leads physical inactivity, disability, dependency and increased mortality. The purpose of this article is to review diagnosis techniques characterizing sarcopenia and examines the role of nutrition and lifestyle intervention in the treatment of this condition.

*Nutr Clin Med 2018; XII (1): 23-36*  
DOI: 10.7400/NCM.2018.12.1.5060

## Correspondencia

Iván Armando Osuna-Padilla  
Centro de Investigación de Enfermedades Infecciosas. Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias.  
Calzada de Tlalpan #4502, Tlalpan, Belisario Domínguez Sección XVI. CP 14080 Ciudad de México, México.  
E-mail: ivan.osuna@cieni.org.mx

## INTRODUCCIÓN

La sarcopenia es definida como una condición caracterizada por la pérdida de masa muscular esquelética y de funcionalidad. Su presencia se asocia con disminución de la densidad mineral ósea, resistencia a la insulina y disminución en la capacidad para realizar esfuerzo físico<sup>1</sup>.

Su descripción data de 1931, fecha en que MacDonald Critchley describió por primera vez una relación inversa entre la masa muscular y la edad. En los 70's, Nathan Sock, describió la fisiopatología del envejecimiento, siendo Irwin Rosenberg en 1989 quien propuso el término de sarcopenia (del griego *sarx* carne y *penia* pérdida) para describir dicha entidad clínica<sup>2</sup>.

La sarcopenia se caracteriza por la disminución de tres aspectos asociados a la masa muscular: cantidad, fuerza y funcionalidad, lo que hace fundamental la medición o cuantificación de los mismos, considerando que en algunos casos no se presenta una disminución de peso o del índice de masa corporal (IMC) debido a un incremento en la masa grasa, condición a la que se le denomina obesidad sarcopénica, la cual se ha asociado a un incremento en la mortalidad<sup>3,4</sup>.

## EPIDEMIOLOGÍA

La prevalencia de sarcopenia en adultos mayores varía dependiendo del criterio diagnóstico utilizado. Diversos autores han encontrado prevalencias más elevadas en adultos mayores de 80 años, al compararlos con personas menores de 70<sup>5</sup>, lo cual resulta alarmante considerando el incremento en la población geriátrica. En el 2017 se reportó que un 10% de hombres y mujeres tenían la condición, estimándose que cerca de 50 millones de personas cursan con sarcopenia a nivel mundial<sup>6</sup>.

## FACTORES ETIOLÓGICOS

La etiología es multifactorial, siendo la edad, el género y el nivel de actividad física algunos de los factores de riesgo identificados. Entre otros aspectos implicados en su desarrollo destacan: el consumo insuficiente de energía y/o proteínas, la presencia de enfermedades crónicas que se acompañan de un proceso inflamatorio de bajo grado, la disminución de hormonas sexua-

les (estrógenos y andrógenos) y el sedentarismo. Una de las complicaciones de esta entidad clínica es la discapacidad, de ahí la importancia de su prevención, diagnóstico y tratamiento<sup>4,7</sup>.

## Aspectos musculares

Conforme el individuo envejece se va presentando una disminución en el número y tamaño de las fibras musculares, ocurriendo una pérdida gradual de la fuerza intrínseca de cada miofibrilla acompañada de un incremento en la infiltración de los ácidos grasos y colágeno, alterándose también la modulación neurológica de la contracción. Existe controversia respecto al impacto clínico de la pérdida de masa muscular, ya que algunos autores han documentado que la pérdida de la fuerza muscular y no de la masa, es un determinante de la limitación funcional y de la disminución del estado de salud en el adulto mayor<sup>7</sup>.

Según su estructura y función, las fibras musculares de forma general, se dividen en dos tipos; las fibras rojas tipo I (aerobias o de contracción lenta) y fibras blancas tipo II (anaerobias o de contracción rápida), las cuales son las que van disminuyendo de forma gradual con la edad, al verse disminuidas las actividades de alta intensidad o de fuerza<sup>7,8</sup>.

Algunas estimaciones reportadas en la literatura mencionan que después de los 35 años, la tasa anual de pérdida de masa muscular es de 1-2%, disminuyendo un 1,5% la fuerza, resultando en una disminución del 40% de la masa muscular entre los 20 y 60 años de edad<sup>9</sup>. La pérdida cuantitativa ocurre debido a la disminución en la cantidad de miocitos y a la reducción en el contenido de proteínas de las células musculares restantes. A medida que disminuye la cantidad de músculo, se acompaña de una disminución en la fuerza muscular, así como de su funcionalidad<sup>10</sup>.

## Aspectos moleculares

La síntesis proteica es controlada por una proteína llamada mTOR (mammalian target of rapamycin) y SGK1 (Serine/threonine-protein kinase), la cual fosforila a la proteína FOXO1 (Forkhead box protein O1), cuya función es reducir la expresión de la proteína Atroquina I, disminuyendo así la degradación proteica a través del sistema ubiquitin-proteasoma. En modelos

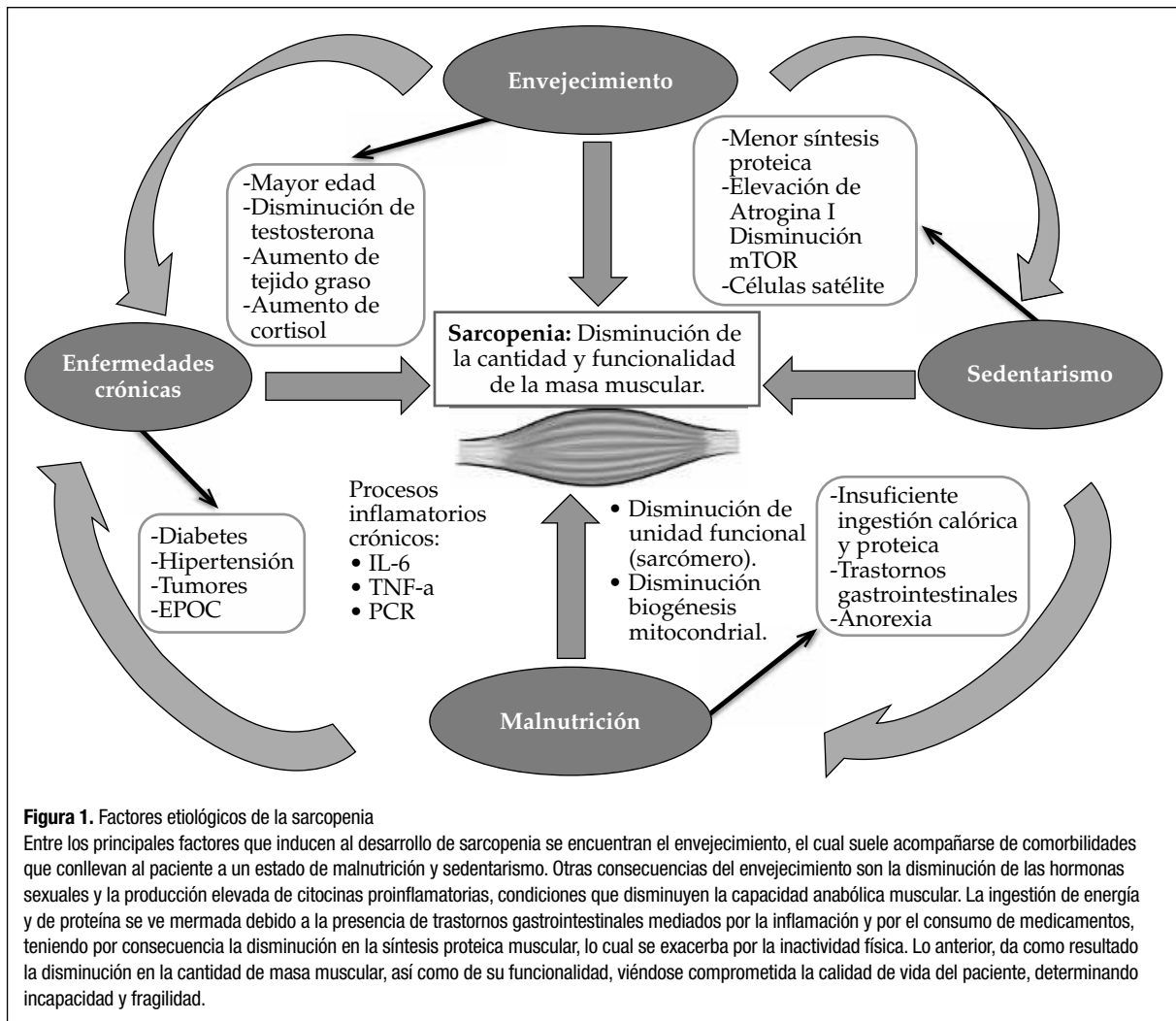
animales de edad avanzada, se ha observado una mayor expresión de Atroquina I<sup>11,12</sup>.

La disminución de la función mitocondrial es otro aspecto involucrado en la disminución de la musculatura, según lo referido por Miquel y cols., quienes mencionan que las mitocondrias juegan un papel importante en la producción de radicales libres, los cuales tienen un efecto deletéreo en su funcionamiento, al ocasionar un incremento en la apoptosis y autofagia, presentándose una mayor actividad lisosomal y una reducción en las células satélite de la masa muscular, las cuales son esenciales para la reparación muscular<sup>13</sup>. El estado inflamatorio que acompaña el envejecimiento, caracterizado por niveles elevados de citocinas IL-1, IL-6 y TNF- $\alpha$ , puede explicar la disfunción mitocondrial, ya que dichas citocinas se unirían a los receptores del sarcolema, promoviendo la producción de ra-

dicales libre en las mitocondrias y la activación del NF- $\kappa$ B, identificado como uno de los factores involucrados en la pérdida de masa muscular asociada a la edad<sup>14</sup>.

### Otros factores

El envejecimiento se suele acompañar de una disminución en el consumo de alimentos debido a la pérdida del apetito (Figura 1). Algunas otras condiciones involucradas en la disminución del consumo alimentario son la presencia de alteraciones para masticar y/o deglutir los alimentos y la anorexia asociada al uso crónico de algunos medicamentos<sup>4,15</sup>. Un aspecto relevante a tener en cuenta es que la pérdida de masa muscular se produce de manera distinta en función del sexo; en hombres la disminución de masa muscular se presenta de forma gradual, mientras que en la mujer se produce un



**Figura 1.** Factores etiológicos de la sarcopenia

Entre los principales factores que inducen al desarrollo de sarcopenia se encuentran el envejecimiento, el cual suele acompañarse de comorbilidades que conllevan al paciente a un estado de malnutrición y sedentarismo. Otras consecuencias del envejecimiento son la disminución de las hormonas sexuales y la producción elevada de citocinas proinflamatorias, condiciones que disminuyen la capacidad anabólica muscular. La ingestión de energía y de proteína se ve mermada debido a la presencia de trastornos gastrointestinales mediados por la inflamación y por el consumo de medicamentos, teniendo por consecuencia la disminución en la síntesis proteica muscular, lo cual se exagera por la inactividad física. Lo anterior, da como resultado la disminución en la cantidad de masa muscular, así como de su funcionalidad, viéndose comprometida la calidad de vida del paciente, determinando incapacidad y fragilidad.

descenso abrupto de la masa muscular al llegar a la menopausia<sup>16</sup>. En la tabla I se mencionan los factores de riesgo más comunes identificados en adultos mayores.

## SARCOPENIA Y SU RELACIÓN CON OTRAS ENTIDADES CLÍNICAS

La sarcopenia por lo general se encuentra presente en otras condiciones clínicas, principalmente en enfermedades crónicas que se acompañan de un estado inflamatorio.

### Caquexia

Es una entidad que se presenta como un desgaste severo, acompañado de alguna enfermedad, como puede ser cáncer, miocardiopatía, enfermedad renal crónica terminal y SIDA, entre otras. Se caracteriza por un síndrome complejo, con pérdida de masa muscular acompañado o no de pérdida de masa grasa. Su relación con la sarcopenia es que ésta es uno de los elementos que debe de estar presente para la definición de caquexia, es decir, todos los pacientes con caquexia tienen algún grado de sarcopenia, pero no todos los pacientes con sarcopenia presentan caquexia<sup>17</sup>.

### Fragilidad

La fragilidad se define por la presencia de tres o más de las siguientes alteraciones: pérdida de peso involuntaria, agotamiento, debilidad, velocidad de marcha lenta o disminución en la capacidad física. Una proporción importante de adultos mayores que presentan fragilidad presentan sarcopenia y algunos sujetos con sarcopenia presentan fragilidad. No obstante, la definición de fragilidad va mucho más allá de solo evaluar el aspecto físico, al considerar factores psicológicos, cognitivos, sociales y del medio ambiente<sup>18</sup>.

### Obesidad sarcopénica

Durante el envejecimiento, la pérdida de masa muscular se hace presente pero se conserva la masa grasa, pudiendo incluso aumentar y redistribuirse en zonas periféricas como brazos, piernas, caderas y en la zona abdominal, condición que se denomina obesidad sarcopénica<sup>18</sup>.

## CRITERIOS DIAGNÓSTICOS

En los últimos 20 años, diversas sociedades y grupos de investigación han dirigido sus esfuerzos al estudio de la sarcopenia, proponiendo

**TABLA I. FACTORES DE RIESGO PARA EL DESARROLLO DE SARCOPENIA**

Factor	Descripción
Mecanismos de estilo de vida	La disminución en el tamaño de la fibra muscular es directamente proporcional al envejecimiento, sin embargo la pérdida muscular es más pronunciada en aquellas personas que llevan un estilo de vida sedentario.
Mecanismos hormonales e inflamatorios	Existe una disminución en las concentraciones de hormonas anabólicas (hormona de crecimiento, factor de crecimiento similar a la insulina, hormonas tiroideas y testosterona) conforme avanza la edad. Aunado a ello, se presenta un incremento en la degradación proteica asociada a mayores concentraciones de citocinas inflamatorias (IL-1, IL-6 y TNF- $\alpha$ ).
Mecanismos celulares	Las células satélite normalmente se activan tras una lesión o ejercicio físico. En respuesta a estas señales, las células satélites se diferencian y se fusionan en la fibra muscular, ayudando a mantener la función muscular al generar adaptaciones fisiológicas. Se ha identificado una disminución en la activación de dichas células en pacientes con sarcopenia.
Mecanismos de evolución	Se ha propuesto una disminución en la expresión de genes cuya función es el mantenimiento de la masa muscular.
Mecanismos de crecimiento/ desarrollo en la infancia	La exposición a diferentes factores en la etapa temprana de la vida se asocia a cambios musculares en la etapa adulta. El bajo peso al nacer se ha asociado con una disminución en la masa muscular en la vida adulta, lo que sugiere que dicho factor es crítico para generar un cambio en la morfología muscular a través de los años.

diferentes criterios para su identificación en la práctica clínica.

Hasta el día de hoy no existe un criterio diagnóstico internacional. En 1998, Baumgartner propuso la primera definición, la cual implica la medición o estimación del índice de masa muscular esquelética apendicular (IMMEA), proponiendo un ajuste a la estatura del paciente. La masa muscular esquelética apendicular corresponde a la musculatura presente en las extremidades superiores e inferiores, la cual corresponde a cerca del 80% de la musculatura del individuo. Valores de IMMEA  $\leq 7,26$  kg/m<sup>2</sup> en hombres y  $\leq 5,45$  kg/m<sup>2</sup> en mujeres diagnostican baja musculatura<sup>5,7</sup>.

En 2009 fue publicado por el European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWG-SOP) un documento de consenso para el diagnóstico de sarcopenia, definiéndola como un síndrome caracterizado por pérdida progresiva y generalizada de la masa muscular esquelética, con efectos adversos como discapacidad física, deterioro en la calidad de vida y aumento en el riesgo de mortalidad. Como ya se mencionó previamente, la etiología es multifactorial, proponiendo en dicho documento cuatro diferentes causas (Tabla II)<sup>18</sup>.

Para el diagnóstico de sarcopenia este grupo recomendó la identificación de dos aspectos: masa muscular disminuida y bajo rendimiento muscular (fuerza o funcionalidad). Los posibles hallazgos a encontrar en la evaluación de la masa, la fuerza y la funcionalidad se presentan en la tabla III, sugiriendo diferentes etapas acorde a la severidad<sup>14</sup>.

El estandar de oro para la medición de la masa muscular esquelética apendicular es la absorciometría de rayos X de energía dual (DEXA), sin embargo, es un equipo con poca disponibilidad en el contexto hospitalario, además de tener costos elevados. Se han propuesto otras herramientas con mayor disponibilidad para la medición de la masa muscular, la fuerza y la funcionalidad<sup>14</sup> (Tabla IV).

En 2009, el International Working Group on Sarcopenia (IWGS) publicó un documento de consenso para la identificación de sarcopenia, donde proponen evaluar a los adultos mayores en quienes se observe una disminución en la capacidad física, fuerza y estado de salud en general, es decir, pacientes con dificultades para realizar actividades de la vida diaria, historia recurrente de hospitalizaciones, pérdida de peso reciente o enfermedades crónicas que promuevan la pérdida de tejido muscular (diabetes tipo 2, enferme-

**TABLA II. ETIOLOGÍA DE SARCOPENIA SEGÚN EL EUROPEAN WORKING GROUP ON SARCOPENIA IN OLDER PEOPLE**

Etiología	Descripción
Sarcopenia <i>primaria</i> (relacionada con la edad)	Ninguna otra causa evidente que desencadene dicho trastorno, solo el propio envejecimiento.
Sarcopenia <i>secundaria</i> (relacionada con la actividad)	Una o más causas evidentes para el desarrollo del trastorno (postración en cama, estilo de vida sedentario, etc.)
Sarcopenia relacionada con la enfermedad	Fallo del algún órgano (corazón, pulmón, hígado, riñón, etc.), enfermedades crónicas que se acompañan de un estado inflamatorio, neoplasias.
Sarcopenia relacionada con la nutrición	Ingestión insuficiente de energía y/o proteína, trastornos gastrointestinales (diarreas) que provocan malabsorción, y medicamentos anorexígenos, entre otras causas.

**TABLA III. CLASIFICACIÓN DE LA SARCOPENIA**

Variable	Presarcopenia	Sarcopenia	Sarcopenia Severa
Masa muscular	↓	↓	↓
Fuerza	Se mantiene	↓	↓
Funcionalidad	Se mantiene	Se mantiene o ↓	↓

**TABLA IV. TÉCNICAS A UTILIZAR PARA LA MEDICIÓN DE LA FUERZA, FUNCIONALIDAD Y MASA MUSCULAR EN EL CONTEXTO CLÍNICO Y DE INVESTIGACIÓN**

Contexto	Fuerza	Funcionalidad	Masa Muscular
Clínico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fuerza de empuñadura (dinamometría)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SPPB</li> <li>Velocidad de marcha habitual</li> <li>Prueba pararse y andar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>BIA</li> <li>DEXA</li> <li>Antropometría</li> </ul>
Investigación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fuerza de empuñadura</li> <li>Flexión de rodilla</li> <li>Máximo flujo de espiración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SPPB</li> <li>Velocidad de marcha habitual</li> <li>Prueba de subir escaleras</li> <li>Prueba pararse y andar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Antropometría</li> <li>BIA</li> <li>DEXA</li> <li>RMI</li> <li>TAC</li> <li>Potasio corporal total o parcial por tejido suave libre de grasa</li> </ul>

BIA: Bioimpedancia eléctrica, DEXA: absorciometría de rayos X de energía dual, RMI: Resonancia magnética de imagen, TC: Tomografía axial computarizada, SPPB: Short Physical Performance Battery

dad renal crónica, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, tumores malignos, entre otras).

En 2011 la Sociedad de Sarcopenia, Caquexia y Desordenes de Desgaste (SCWD) definió la sarcopenia con movilidad limitada como la pérdida de masa muscular (dos desviaciones estándar por debajo de la media para población sana de 20-30 años de edad del mismo grupo étnico) acompañada de una velocidad de marcha menor a 1 metro/segundo o aquellos que caminan menos de 400 m durante una marcha de 6 minutos<sup>19</sup>.

En la tabla V se muestran los diferentes puntos de corte propuestos por los organismos internacionales.

## TRATAMIENTO NO FARMACOLÓGICO

La principal meta en la prevención de la sarcopenia es retrasar el desgaste y la pérdida de la masa muscular asociada al envejecimiento, dos de los factores involucrados en dicha disminución son la ingestión subóptima de proteínas y la inactividad física. Las intervenciones no farmacológicas representan la estrategia más eficaz en el manejo de la sarcopenia, las cuales consisten en asegurar un consumo adecuado de energía y proteínas, además de la promoción del ejercicio físico con la finalidad de mejorar la cantidad y calidad de la masa muscular, asegurando una provisión óptima de vitaminas y minerales<sup>3,9,20</sup>.

El rol del profesional de la nutrición consiste en primera instancia en corregir los factores que

dificultan la ingestión de alimentos, como la escasa higiene bucal o la falta de dientes, y reestructurar los hábitos alimentarios, estableciendo horarios de alimentación y orientando al paciente a una selección de alimentos con alto valor nutricional, entre otros. El abordaje nutricional deberá incluir recomendaciones sobre estilos de vida saludable, como la realización de ejercicio físico regular, haciendo uso de suplementos nutricionales solo en casos específicos<sup>21,22</sup>.

## ABORDAJE NUTRICIONAL

### Proteínas

El consumo subóptimo de proteínas es una situación común en el adulto mayor, documentándose que un 40% de la población tiene un consumo menor a la ingesta diaria recomendada (0.8 g/kg/día). Algunos autores han documentado que la recomendación de 0.8 g/kg puede ser insuficiente para este grupo poblacional, ya que se ha observado que la ingestión de 1.2 g/kg de peso/día disminuye la pérdida de masa muscular en un 40%, en comparación con una ingestión de 0.8g/kg<sup>15,23</sup>, proponiendo un consumo de 1.0 a 1.5 g/kg/día, buscando un consumo de 25-30 g de proteína en cada tiempo de comida, lo cual favorece un balance de nitrógeno positivo sin tener repercusiones en la función renal<sup>24</sup>.

### Energía

Gran parte de la investigación en materia de abordaje nutricional está enfocada en la can-

**TABLA V. CRITERIOS DIAGNÓSTICOS DE SARCOPENIA PROPUESTOS POR DIFERENTES ORGANISMOS INTERNACIONALES**

Autor	Método	Población aplicada	Puntos de corte
Baumgartner	IMMEA estimado con medidas antropométricas o BIA.	Adultos mayores entre 65 a 80 años de edad.	$\leq 7,26 \text{ kg/m}^2$ en $\sigma$ $\leq 5,45 \text{ kg/m}^2$ en $\varphi$
European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWGSOP)	IMMEA medido con DEXA, Tomografía computarizada o Resonancia magnética de imagen + Funcionalidad (FA)	Población objetivo, personas mayores de 65 años de edad.	<b>Sarcopenia Opción 1:</b> $VM \leq 0.8$ metros/s + $IMMEA \leq 7,23 \text{ kg/m}^2$ en $\sigma$ $\leq 5,67 \text{ kg/m}^2$ en $\varphi$ <b>Sarcopenia Opción 2:</b> $FA$ en $\sigma \leq 30 \text{ kg}$ ; $\varphi \leq 20 \text{ kg}$ + $IMMEA \leq 7,23 \text{ kg/m}^2$ en $\sigma \leq 5,67 \text{ kg/m}^2$ en $\varphi$
International Working Group on Sarcopenia (IWGS)	IMMEA medida con DEXA + Funcionalidad (VM)	No menciona edad ya que dicha condición puede presentarse en cualquier paciente.	$\leq 7,23 \text{ kg/m}^2$ en $\sigma$ $\leq 5,67 \text{ kg/m}^2$ en $\varphi$ + $VM \leq 1$ metro/s
Society on Sarcopenia, Cachexia And Wasting Disorders (SCWD)	IMMEA medido con DEXA, BIA, TC, IRM + Funcionalidad (VM)	Personas mayores de 60 años o quienes sientan que la velocidad de caminata ha disminuido, así como pacientes recientemente hospitalizados o mucho tiempo en cama.	$DEXA: \leq 7,26 \text{ kg/m}^2$ en $\sigma$ $\leq 5,45 \text{ kg/m}^2$ en $\varphi$ o $BIA: \leq 14.6 \text{ kg/m}^2$ en $\sigma$ $\leq 11.4 \text{ kg/m}^2$ en $\varphi$ + $VM \leq 1$ metro/segundo O 400m en caminata de 6 minutos

$\sigma$  Hombres,  $\varphi$  Mujeres, IMMEA Índice de masa muscular esquelética apendicular, VM velocidad de la marcha, FA fuerza de agarre o empuñadura, BIA Bioimpedancia eléctrica, DEXA absorciometría de rayos X de energía dual, RMI Resonancia magnética de imagen, TC Tomografía axial computarizada

tividad de proteínas que necesita el adulto con sarcopenia, subestimándose la importancia del requerimiento energético en dicha condición. Cuando la ingestión calórica total se ve disminuida se merma con ello el consumo de vitaminas y minerales, condicionando el desarrollo de deficiencias nutricionales.

La disminución en la masa muscular se asocia con una disminución en el gasto energético, de ahí la importancia de realizar medición del mismo a través de calorimetría indirecta. En caso de no contar con este equipo, los requerimientos energéticos oscilan entre 20-28 kcal/kg de masa libre de grasa o 24-36 kcal/kg de peso corporal<sup>25,26</sup>. Ponce y cols. realizaron un estudio en población mexicana con adultos mayores que presentaban sarcopenia, reportando un consumo de 1975.8 kcal en hombres y 1,517.2 kcal en mujeres<sup>23</sup>.

## PATRONES ALIMENTARIOS

Es importante asegurar la provisión a través de la alimentación de cantidades suficientes de vitamina D, ácidos grasos omega 3 y antioxidantes, promoviendo una alimentación abundante en vegetales y frutas, cereales de grano entero, fuentes de proteína animal como carnes magras, huevo, pescado y lácteos, lo cual ha mostrado beneficios en lo que respecta a ganancia de fuerza muscular, además de mejor función física y menor riesgo de fragilidad en adultos mayores. La instauración de un patrón mediterráneo ha demostrado algunos beneficios clínicos, entre ellos un menor declive en la función física y menor riesgo de discapacidad, posiblemente al aportar una mayor cantidad de nutrimentos y bioactivos que ejercen un efecto positivo sobre el paciente<sup>22</sup>.

## ESTRATEGIAS DE SUPLEMENTACIÓN NUTRICIONAL

### Aminoácidos esenciales

Diversos autores han evaluado el impacto de la suplementación de diferentes aminoácidos (en especial los de cadena ramificada isoleucina, leucina y valina) sobre la masa muscular, ya que se ha descrito que, en adultos mayores, se presenta una resistencia anabólica (término que hace referencia a una menor respuesta a estímulos anabólicos por parte del músculo), viéndose

disminuida la síntesis proteica, según lo demostrado por Wall y cols., quienes compararon la síntesis proteica muscular en adultos mayores contra adultos jóvenes después de una ingestión de 20 gramos de proteína, observando una disminución de 16% en la síntesis proteica muscular en el estado postprandial en los adultos mayores<sup>27</sup>. Kim y cols. observaron un incremento en la masa muscular en piernas tras la suplementación de aminoácidos esenciales (6 g/día durante 3 meses) en un grupo de mujeres japonesas<sup>28</sup>. Katsanos y cols. suplementaron 6.7 g de aminoácidos esenciales (2.7 g de leucina) encontrando mejorías en la síntesis proteica muscular<sup>29</sup>. Las recomendaciones actuales proponen incrementar la ingestión de alimentos con alto contenido proteico, incluyendo carne magra y productos lácteos, carne de vaca y alimentos ricos en leucina (soya, lentejas, frijoles), aportando por lo menos 4 gramos del aminoácido leucina en cada tiempo de comida por lo menos 3 veces al día<sup>21</sup>, suplementando en aquellos casos donde no se logra cubrir la ingesta diaria recomendada<sup>22</sup>.

### Proteína

Diversos estudios han demostrado que la suplementación proteica tiene efectos positivos en la masa muscular, fuerza, síntesis proteica y funcionalidad en adultos mayores. Scott y cols. reportaron que la cantidad ingerida de proteínas es un predictor independiente de la masa muscular esquelética apendicular<sup>16</sup>.

Pennings y cols. han demostrado recientemente que la ingestión de proteínas de suero de leche estimula la acumulación de proteínas musculares postprandiales en hombres mayores de manera más eficiente que la caseína o el hidrolizado de caseína<sup>30</sup>. Tieland y cols. suplementaron 15 g de proteína en el desayuno y la comida durante 24 semanas en adultos mayores de 65 años de edad, observando mejorías en la condición física sin observar efectos adversos<sup>31</sup>. Pennings y cols. evaluaron el efecto de la suplementación de proteína de suero de leche a diferentes dosis (10, 20 y 35 gramos), observando una mejor absorción y síntesis proteica tras el consumo de 35 g<sup>32</sup>. Se necesitan más estudios para establecer la cantidad y el momento adecuado para ingerirlas, valorando la seguridad de la suplementación a largo plazo.

En casos donde no se cubren los requerimientos proteicos, la utilización de este tipo de es-



trategias puede ayudar a incrementar el aporte proteico, evitando la pérdida de masa muscular. No existe una dosis consenso a utilizar, pero de acuerdo a la evidencia científica, la ingestión de 25 a 30 gr de proteína de suero de leche por lo menos 1 vez al día puede ser de utilidad, evaluando la tolerancia y el consumo total de proteínas para ajustar la dosificación.

## Vitamina D

La vitamina D tiene funciones esenciales en el metabolismo mineral óseo, actuando también en las células del páncreas estimulado la secreción de insulina. La deficiencia de vitamina D, definida como niveles séricos menores de 20 ng/ml, es una condición muy común en los países desarrollados, estimándose que 20 a 100% de los adultos mayores en EUA, Canadá y Europa cursan con ella, teniendo por consecuencia alteraciones en el metabolismo de la glucosa. Algunas causas de la deficiencia son el consumo limitado de alimentos ricos en vitamina D, la falta de exposición a la luz solar y la disminución en la producción cutánea de vitamina D por el envejecimiento<sup>33</sup>.

La 1,25 dihidroxivitamina D [1,25(OH)<sub>2</sub>D] no sólo aumenta y mejora la función de las células beta del páncreas sino que también mejora la sensibilidad de la insulina en las células diana (hígado, musculo esquelético y tejido adiposo), reportándose una menor masa muscular y fuerza en pacientes con deficiencia sérica<sup>34</sup>. La suplementación ha demostrado mejorar la composición y morfología de la fibra muscular y la función muscular, reduciendo con ello la incidencia de caídas. No existe consenso en la dosis de vitamina D para suplementar, proponiéndose 800 UI por día, llegando hasta 1.000 UI, además de la promoción del consumo frecuente de alimentos ricos en este micronutriente, como carnes rojas, huevos (yema), salmón, atún, vísceras y el aceite de hígado de bacalao<sup>21</sup>.

La combinación de los suplementos antes mencionados podría tener un impacto positivo según los resultados de Rondanelli y cols., quienes suplementaron 22 g de suero de leche, 10.9 g de aminoácidos esenciales (4 g de leucina) y 100 UI de vitamina D durante 12 semanas, observando una ganancia en la masa libre de grasa y en la fuerza de la empuñadura, al compararlo con el grupo placebo<sup>35</sup>.

## Creatina monohidratada

La creatina es sintetizada en el hígado, riñón y páncreas a partir de los aminoácidos arginina, glicina y metionina. Su función principal es unirse con el fosforo inorgánico formando fosfocreatina; este sistema apoya al Adenosin-Trifosfato (ATP) que está de reserva en el musculo esquelético y se utiliza en momentos de gran demanda energética y alta intensidad. En el envejecimiento, al dejar de realizar este tipo de actividades se ven reducidas las fibras musculares tipo II debido a que los esfuerzos físicos de alta intensidad reclutan específicamente este tipo de fibras las cuales tiene una concentración mayor de creatina a comparación de las fibras musculares tipo I. Cuando se ha agotado los depósitos de creatina por completo, su repleción se da en un proceso de 24 horas. Se ha demostrado que la inactividad física reduce un 25% los valores de creatina en el músculo esquelético<sup>36</sup>.

Se ha reportado un incremento en las concentraciones de creatina muscular tras suplementar dosis altas de creatina oral por tiempos cortos (20-25 g/día por 5 a 7 días) o dosis bajas por tiempos prolongados (2 a 5 g/día por 4 a 6 semanas)<sup>37</sup>.

Candow y cols. suplementaron creatina a dosis de 0.1 g/kg/día y proteína de suero de leche 0.3 g/kg/día durante 10 semanas a la par de un entrenamiento de resistencia, encontrando un incremento en la masa libre de grasa y fuerza muscular en comparación con aquellos que consumieron solo creatina o placebo<sup>38</sup>.

Aguiar y cols. estudiaron la suplementación de creatina (5 g/día) combinada con ejercicio de resistencia muscular durante 12 semanas en mujeres de 60 años, describiendo mejorías en la función y condición corporal total, fuerza y masa muscular<sup>39</sup>. Un metaanálisis publicado por Chilibeck y cols. incluyó un total de 22 ensayos clínicos de suplementación de creatina durante entrenamiento de resistencia en adultos mayores, reportando un incremento en la masa libre de grasa e incrementos en la fuerza muscular. Gran parte de las investigaciones utilizan una carga de 20 g/día durante 5-6 días y 5 g/día los días posteriores<sup>40</sup>.

No existe un consenso de que dosis utilizar, sugiriéndose la suplementación de monohidrato de creatina (5-20 g / día) a corto plazo (durante

2 semanas) en personas mayores que participan en programas de entrenamiento de fuerza.

### $\beta$ -hidroximetilbutirato (HMB)

Se trata de un metabolito del aminoácido leucina, el cual se produce a partir del ácido  $\alpha$ -cetoisocaproico por medio de la enzima ácido  $\alpha$ -cetoisocaproato oxigenasa. Dicho metabolito va disminuyendo con el envejecimiento natural. En adultos jóvenes, sus concentraciones séricas se correlacionan de forma directa con la fuerza muscular y la masa muscular esquelética apendicular<sup>41</sup>.

Entre los beneficios documentados, destaca el aumento en la síntesis proteica y la atenuación del catabolismo proteico muscular tras su suplementación en pacientes en estado crítico<sup>22</sup>. En el 2013, Deutz y cols. evaluaron el efecto de la suplementación de HMB (3 g/día) en adultos mayores sanos que fueron sometidos a reposo total en cama durante 10 días, posteriormente se instauró una rutina de entrenamiento de resistencia durante 8 semanas. La suplementación fue iniciada 5 días previos a la postración en cama, reportando una preservación de la masa muscular durante la postración y un incremento en la musculatura de piernas y en la fuerza muscular<sup>42</sup>. Según los resultados de un meta-análisis de ensayos clínicos realizados en adultos mayores, la suplementación con HMB se asocia con un incremento en la masa muscular, previniendo con ello la atrofia muscular<sup>43</sup>.

No existe consenso de dosis y presentaciones a suplementar en el adulto mayor con sarcopenia.

### Ácidos grasos poliinsaturados Omega 3

Las enfermedades crónicas no transmisibles (diabetes, hipertensión, enfermedad renal, obesidad, etc.) son entidades clínicas de alta prevalencia en el adulto mayor, las cuales se acompañan de un estado inflamatorio de bajo grado, contribuyendo al desarrollo de sarcopenia. Dicho estado puede verse disminuido tras el consumo y/o suplementación de ácidos grasos poliinsaturados, principalmente de ácidos grasos omega 3, los cuales proveen otros beneficios en la musculatura, al tener un efecto directo sobre la síntesis proteica muscular mediante la activación de la vía mTOR<sup>22</sup> e incrementando las cantidades de omega 3 en las membranas de células nerviosas y musculares, mejorando con ello el funcionamiento celular, la endocitosis, exoci-

tosis, permeabilidad y rigidez. Dichas mejoras aceleran el impulso de la conducción eléctrica en las sinapsis y la contracción muscular<sup>44</sup>.

Se ha señalado que la suplementación de 2 g/día de omega 3 en mujeres mayores mejora la velocidad de marcha, fuerza muscular y capacidad funcional<sup>45</sup>. En otro estudio realizado en adultos mayores de 60 a 85 años, la suplementación de 1.86 gramos de ácido eicosapentanoico (EPA) y 1.50 gramos de ácido docosahexanoico (DHA) durante 6 meses demostró incrementar el volumen muscular de la pierna en un 3.6%, incrementando también la fuerza de empuñadura (2.3 kg)<sup>46</sup>. Este mismo grupo de investigadores observaron en un estudio previo un incremento en la síntesis proteica en adultos mayores tras la suplementación durante 8 semanas de 1.86 gramos de EPA y 1.50 gramos de DHA en conjunto con la administración de aminoácidos<sup>47</sup>. Hutchins-Wise y cols. observaron mejoras en la condición física evaluada por velocidad de la marcha utilizando 1.2 g/día de omega 3 en mujeres postmenopausicas<sup>48</sup>.

La suplementación de omega 3 ha mostrado ser potencialmente beneficioso, sugiriéndose una dosis mínima de 1 g/día, pudiendo elevarla a juicio clínico del profesional. Sin embargo la dosis exacta aun no sido definida<sup>22</sup>.

## ACTIVIDAD FÍSICA

### Ejercicio anaeróbico o de resistencia muscular (hipertrofia)

Se le denomina ejercicio de resistencia (muscular) debido a que el musculo esquelético ejerce una fuerza para levantar un determinado peso que va en contra de la gravedad, es por eso que las miofibrillas musculares se contraen cuando se sostiene dicho peso (el musculo genera u opone una resistencia). Para que el musculo se contraiga, no necesariamente debe de levantarse un peso libre, también se puede realizar con algún objeto o artefacto que cree resistencia como las bandas elásticas de entrenamiento, los músculos se deben de contraer para mantenerlas estiradas y se relajan cuando vuelven a su posición natural. En este tipo de ejercicio, la longitud del musculo se ve modificada, cuando se acorta el musculo se denomina fase concéntrica y cuando vuelve a su posición natural es llamada fase excéntrica. Cuando el musculo se tensa y realiza alguna resistencia pero su longitud no se ve modificada se le denomina

contracción isométrica (iso= igual, métrica= longitud) es decir, la longitud del músculo no cambia. Esto no debe practicarse en este tipo de entrenamiento debido a que la base del ejercicio es que el músculo cambie su longitud y esto estimule a la hipertrofia muscular (contracción isotónica). Uno de los efectos de este ejercicio es aumentar el tamaño de las fibras tipo 2 o de potencia, las cuales son necesarias para el funcionamiento que corresponde a la fuerza muscular, a diferencia de las fibras tipo 1 o de resistencia aeróbica.

El ejercicio de resistencia muscular es la medida más eficaz para la prevención y tratamiento de la sarcopenia al promover mejorías en la fuerza y masa muscular. Henwood y cols. reportaron mejorías en fuerza muscular y habilidad funcional tras 24 semanas de una rutina de ejercicios de entrenamiento en pacientes geriátricos<sup>49</sup>. Leenders y cols. reportaron mejoras tras 24 semanas de resistencia muscular en un grupo de adultos mayores, observando incrementos en la fuerza y el tamaño de las fibras tipo II<sup>50</sup>.

El ejercicio de resistencia muscular tiene efectos beneficiosos en población sarcopénica, mejora la funcionalidad en cuestión de levantarse del suelo y subir escaleras, evita caídas, mejora la resistencia a la insulina y el perfil lipídico, además de prevenir el deterioro cognitivo. Se recomienda realizar este tipo de actividad física 3 veces por semana. En adultos mayores con funcionalidad preservada se sugiere la prescripción del ejercicio físico con respecto a la intensidad, duración y frecuencia o volumen de entrenamiento. Dichos ejercicios deben estar basados principalmente en la hipertrofia muscular, 1-3 series de 8-12 repeticiones cada una, que incluyan los 8-10 grupos musculares mayores, con una intensidad del 70-80% de la fuerza máxima o una repetición máxima (1RM) que puede realizarse con ese grupo muscular y con un descanso de un minuto entre las series. Los beneficios del entrenamiento de resistencia o hipertrofia se pueden observar tras 11 semanas de entrenamiento. Arnold y cols. mencionan que el ejercicio es significativamente superior a todas las intervenciones conocidas (medicamentos, dietoterapia y hormonas) para frenar, tratar y revertir la sarcopenia<sup>51,52</sup>.

### Ejercicio aeróbico o de resistencia aeróbica

Este tipo de ejercicio demanda una mayor cantidad de oxígeno al organismo y se realiza de una

manera constante, sin interrupción y de una manera prolongada, pudiendo existir variaciones de intensidades durante su realización. Uno de los efectos que tiene sobre quien lo practica es el aumento de la formación de vasos sanguíneos (angiogénesis) en la fibra muscular, mejorando de esta manera la perfusión sanguínea y oxigenación de los tejidos. Actividades como caminar, trotar, correr, marchar, pedalear, subir escaleras, entre otras, representan este tipo de ejercicio.

Cruz-Jentoft y cols. reportaron que la realización de este tipo de ejercicios a una intensidad media o moderada (60% de la frecuencia cardiaca máxima), mejoran las funciones cardiovasculares y el desempeño en actividades tales como caminar o levantarse de una silla. En población de la tercera edad, se sugiere la práctica de este tipo de actividad física mínimo 3 veces a la semana, con una duración de 20-60 minutos por sesión a una intensidad del 40-60% de la frecuencia cardiaca máxima (FCMax)<sup>24,53</sup>.

La Sociedad de Sarcopenia, Caquexia y Desordenes de Desgaste recomienda ejercicio aeróbico y de resistencia muscular, durante 20 a 30 minutos, 3 veces por semana<sup>19</sup>.

La prescripción del ejercicio físico se debe realizar de manera individualizada, considerando la aptitud física de cada adulto mayor, por lo que se sugiere la valoración de la condición física por un profesional<sup>54</sup>.

## SUPLEMENTACIÓN NUTRICIONAL Y RUTINAS DE ENTRENAMIENTO

La suplementación de proteínas combinada con ejercicios de resistencia ha demostrado tener un efecto sinérgico, promoviendo el incremento en la síntesis de proteínas en el estado postprandial y la deposición de materia biológica en el tejido muscular, al mejorar la digestión y la cinética en la absorción de proteínas<sup>55</sup>. Los resultados de la evidencia científica son poco contundentes, ya que algunos autores no han demostrado efectos positivos en la masa muscular, debido a que no se controlan otros aspectos que pueden influir en dichas reservas corporales, como el consumo de proteínas y de hidratos de carbono en la dieta de los adultos mayores participantes, el tipo de proteína ingerida (vegetal o animal), la combinación de alimentos ingerida durante la suplementación (hidratos de carbono con pro-

teínas), entre otras. Aun así, estas intervenciones no farmacológicas siguen siendo los estímulos anabólicos más potentes para el tratamiento de la sarcopenia.

## CONCLUSIÓN

La sarcopenia es una entidad clínica de alta prevalencia en los adultos mayores, la cual es de etiología multifactorial. Diversas complicaciones se han asociado a dicha condición, entre ellas un incremento en la fragilidad, discapacidad, tasas de fracturas y mayor mortalidad.

El tratamiento de la sarcopenia es multidisciplinar, siendo el tratamiento nutricional una parte fundamental para la prevención y mejoría de la musculatura. Entre las estrategias no farmacológicas estudiadas en la actualidad se encuentra la suplementación de proteínas y aminoácidos, HMB, omega 3, vitamina D y la prescripción de rutinas de ejercicio. Es importante que el profe-

sional de la salud conozca los mecanismos y la relevancia de cada estrategia, y considere que la actividad física no es eficiente sin la cantidad y calidad adecuada de proteínas para la reparación y crecimiento muscular, al igual que el aprovechamiento (digestión y absorción) de proteínas no es eficiente sin la práctica de actividad física, es por eso que estas estrategias deben de ir en conjunto para la obtención de mejores resultados.

La actualización constante del profesional de la nutrición permitirá prevenir, mejorar y/o revertir la sarcopenia en el adulto mayor, permitiendo utilizar las estrategias no farmacológicas y de estilo de vida de mayor rigor científico, permitiendo establecer las dosis óptimas de nutrimentos para su prescripción.

## CONFLICTOS DE INTERÉS

Sin conflictos por declarar.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Evans WJ. What is sarcopenia? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 1995;50 Spec No:5-8.2
2. Rosenberg IH. Sarcopenia: origins and clinical relevance. *Clin Geriatr Med*. 2011;27:337-9. doi:10.1016/j.cger.2011.03.003
3. Malafarina V, Uriz-Otano F, Gil-Guerrero L. Nutritional assessment and treatment of sarcopenia. *Rev Esp Geriatr Gerontol*. 2013;48:153-4. doi:10.1016/j.regg.2013.03.005
4. Ali S, Garcia JM. Sarcopenia, cachexia and aging: diagnosis, mechanisms and therapeutic options - a mini-review. *Gerontology*. 2014;60:294-305. doi:10.1159/000356760
5. Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, Romero L, Heymsfield SB, Ross RR *et al*. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol*. 1998;147:755-63.
6. Shafiee G, Keshtkar A, Soltani A, Ahadi Z, Larijani B, Heshmat R. Prevalence of sarcopenia in the world: a systematic review and meta-analysis of general population studies. *J Diabetes Metab Disord*. 2017;16. doi:10.1186/s40200-017-0302-x
7. Fielding RA, Vellas B, Evans WJ, Bhasin S, Morley JE, Newman AB. Sarcopenia: An Undiagnosed Condition in Older Adults. Current Consensus Definition: Prevalence, Etiology, and Consequences. *J Am Med Dir Assoc*. 2011;12:249-56. doi:10.1016/j.jamda.2011.01.003
8. Carrero JJ, Johansen KL, Lindholm B, Stenvinkel P, Cuppari L, Avesani CM. Screening for muscle wasting and dysfunction in patients with chronic kidney disease. *Kidney Int*. 2016;90:53-66. doi:10.1016/j.kint.2016.02.025
9. Beasley JM, Shikany JM, Thomson CA. The role of dietary protein intake in the prevention of sarcopenia of aging. *Nutr Clin Pract*. 2013;28:684-90. doi:10.1177/0884533613507607
10. Roubenoff R, Hughes VA. Sarcopenia: current concepts. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2000;55:M716-724.
11. Yoon M-S. mTOR as a Key Regulator in Maintaining Skeletal Muscle Mass. *Front Physiol*. 2017;8. doi:10.3389/fphys.2017.00788
12. Sakuma K, Aoi W, Yamaguchi A. The Intriguing Regulators of Muscle Mass in Sarcopenia and Muscular Dystrophy. *Front Aging Neurosci*. 2014;6. doi:10.3389/fnagi.2014.00230
13. Miquel J, Economos AC, Fleming J, Johnson JE. Mitochondrial role in cell aging. *Exp Gerontol*. 1980;15:575-91.
14. Michaud M, Balardy L, Moulis G, Gaudin C, Peyrot C, Vellas B *et al*. Proinflammatory cytokines, aging, and age-related diseases. *J Am Med Dir Assoc*. 2013;14:877-82. doi:10.1016/j.jamda.2013.05.009

15. Volpi E, Campbell WW, Dwyer JT, Johnson MA, Jensen GL, Morley JE *et al.* Is the optimal level of protein intake for older adults greater than the recommended dietary allowance? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2013;68:677-81. doi:10.1093/gerona/gls229
16. Cruz-Jentoft AJ, Triana FC, Gómez-Cabrera MC, López-Soto A, Masanés F, Martín PM, *et al.* La eclosión de la sarcopenia: Informe preliminar del Observatorio de la Sarcopenia de la Sociedad Española de Geriátrica y Gerontología. *Rev Esp Geriatr Gerontol.* n.d.:100-10. doi:10.1016/j.regg.2010.11.004.
17. Evans WJ, Morley JE, Argilés J, Bales C, Baracos V, Guttridge D *et al.* Cachexia: a new definition. *Clin Nutr.* 2008;27:793-9. doi:10.1016/j.clnu.2008.06.013
18. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F *et al.* Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing.* 2010;39:412-23. doi:10.1093/ageing/afq034
19. Morley JE, Abbatecola AM, Argiles JM, Baracos V, Bauer J, Bhasin S *et al.* Sarcopenia with limited mobility: an international consensus. *J Am Med Dir Assoc.* 2011;12:403-9. doi:10.1016/j.jamda.2011.04.014
20. Chávez-Moreno DV, Infante-Sierra H, Serralde-Zúñiga AE. Sarcopenia y funcionalidad en el adulto mayor hospitalizado. *Nutr Hosp.* 2015;31.
21. Calvani R, Miccheli A, Landi F, Bossola M, Cesari M, Leeuwenburgh C *et al.* Current nutritional recommendations and novel dietary strategies to manage sarcopenia. *J Frailty Aging.* 2013;2:38-53.
22. Robinson SM, Reginster JY, Rizzoli R, Shaw SC, Kanis JA, Bautmans I *et al.* Does nutrition play a role in the prevention and management of sarcopenia? *Clin Nutr.* 2017. doi:10.1016/j.clnu.2017.08.016
23. Valenzuela RER, Ponce JA, Morales-Figueroa GG, Muro KA, Carreón VR, Alemán-Mateo H. Insufficient amounts and inadequate distribution of dietary protein intake in apparently healthy older adults in a developing country: implications for dietary strategies to prevent sarcopenia. *Clin Interv Aging.* 2013;8:1143-8. doi:10.2147/CIA.S49810
24. Naseeb MA, Volpe SL. Protein and exercise in the prevention of sarcopenia and aging. *Nutr Res.* 2017;40:1-20. doi:10.1016/j.nutres.2017.01.001
25. Gaillard C, Alix E, Sallé A, Berrut G, Ritz P. Energy requirements in frail elderly people: A review of the literature. *Clinical Nutrition.* 2007;26:16-24. doi:10.1016/j.clnu.2006.08.003
26. Woo J. Nutritional interventions in sarcopenia: where do we stand? *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care.* 2018;21:19. doi:10.1097/MCO.0000000000000432
27. Wall BT, Gorissen SH, Pennings B, Koopman R, Groen BBL, Verdijk LB *et al.* Aging Is Accompanied by a Blunted Muscle Protein Synthetic Response to Protein Ingestion. *PLoS ONE.* 2015;10:e0140903. doi:10.1371/journal.pone.0140903
28. Kim HK, Suzuki T, Saito K, Yoshida H, Kobayashi H, Kato H *et al.* Effects of exercise and amino acid supplementation on body composition and physical function in community-dwelling elderly Japanese sarcopenic women: a randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc.* 2012;60:16-23. doi:10.1111/j.1532-5415.2011.03776.x
29. Katsanos CS, Kobayashi H, Sheffield-Moore M, Aarsland A, Wolfe RR. A high proportion of leucine is required for optimal stimulation of the rate of muscle protein synthesis by essential amino acids in the elderly. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2006;291:E381-387. doi:10.1152/ajpendo.00488.2005
30. Pennings B, Boirie Y, Senden JMG, Gijsen AP, Kuipers H, van Loon LJC. Whey protein stimulates postprandial muscle protein accretion more effectively than do casein and casein hydrolysate in older men. *Am J Clin Nutr.* 2011;93:997-1005. doi:10.3945/ajcn.110.008102
31. Tieland M, van de Rest O, Dirks ML, van der Zwaluw N, Mensink M, van Loon LJC *et al.* Protein supplementation improves physical performance in frail elderly people: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J Am Med Dir Assoc.* 2012;13:720-6. doi:10.1016/j.jamda.2012.07.005
32. Pennings B, Groen B, de Lange A, Gijsen AP, Zorenc AH, Senden JMG *et al.* Amino acid absorption and subsequent muscle protein accretion following graded intakes of whey protein in elderly men. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2012;302:E992-999. doi:10.1152/ajpendo.00517.2011
33. Bhattoa HP, Konstantynowicz J, Laszcz N, Wojcik M, Pludowski P. Vitamin D: Musculoskeletal health. *Rev Endocr Metab Disord.* 2017;18:363-71. doi:10.1007/s11154-016-9404-x
34. Holick MF. Vitamin D Deficiency. *New England Journal of Medicine.* 2007;357:266-81. doi:10.1056/NEJMr070553
35. Rondanelli M, Klersy C, Terracol G, Talluri J, Maugeri R, Guido D *et al.* Whey protein, amino acids, and vitamin D supplementation with physical activity increases fat-free mass and strength, functionality, and quality of life and decreases inflammation in sarcopenic elderly. *Am J Clin Nutr.* 2016;103:830-40. doi:10.3945/ajcn.115.113357
36. Rondanelli M, Faliva M, Monteferrario F, Peroni G, Repaci E, Allieri F *et al.* Novel Insights on Nutrient Management of Sarcopenia in Elderly. *BioMed Research International.* 2015. doi:10.1155/2015/524948

37. Bird SP. Creatine Supplementation and Exercise Performance: A Brief Review. *J Sports Sci Med*. 2003;2:123-32.
38. Candow DG, Little JP, Chilibeck PD, Abeysekara S, Zello GA, Kazachkov M *et al*. Low-dose creatine combined with protein during resistance training in older men. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40:1645-52. doi:10.1249/MSS.0b013e318176b310
39. Aguiar AF, Januário RSB, Junior RP, Gerage AM, Pina FLC, do Nascimento MA *et al*. Long-term creatine supplementation improves muscular performance during resistance training in older women. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113:987-96. doi:10.1007/s00421-012-2514-6
40. Chilibeck PD, Kaviani M, Candow DG, Zello GA. Effect of creatine supplementation during resistance training on lean tissue mass and muscular strength in older adults: a meta-analysis. *Open Access J Sports Med*. 2017;8:213-26. doi:10.2147/OAJS.M.S123529
41. Manjarrez-Montes-de-Oca R, Torres-Vaca M, González-Gallego J, Alvear-Ordenes I. [ $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate as a dietary supplement (II): cell and molecular mechanism of action]. *Nutr Hosp*. 2014;31:597-605. doi:10.3305/nh.2015.31.2.8437
42. Deutz NEP, Pereira SL, Hays NP, Oliver JS, Edens NK, Evans CM *et al*. Effect of  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate (HMB) on lean body mass during 10 days of bed rest in older adults. *Clin Nutr*. 2013;32:704-12. doi:10.1016/j.clnu.2013.02.011
43. Wu H, Xia Y, Jiang J, Du H, Guo X, Liu X *et al*. Effect of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation on muscle loss in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Arch Gerontol Geriatr*. 2015;61:168-75. doi:10.1016/j.archger.2015.06.020
44. Di Girolamo FG, Situlin R, Mazzucco S, Valentini R, Toigo G, Biolo G. Omega-3 fatty acids and protein metabolism: enhancement of anabolic interventions for sarcopenia. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2014;17:145-50. doi:10.1097/MCO.0000000000000032
45. Rodacki CL, Rodacki AL, Pereira G, Naliwaiko K, Coelho I, Pequito D *et al*. Fish-oil supplementation enhances the effects of strength training in elderly women. *Am J Clin Nutr*. 2012;ajcn.021915. doi:10.3945/ajcn.111.021915
46. Smith GI, Julliard S, Reeds DN, Sinacore DR, Klein S, Mittendorfer B. Fish oil-derived n-3 PUFA therapy increases muscle mass and function in healthy older adults. *Am J Clin Nutr*. 2015;102:115-22. doi:10.3945/ajcn.114.105833
47. Smith GI, Atherton P, Reeds DN, Mohammed BS, Rankin D, Rennie MJ *et al*. Dietary omega-3 fatty acid supplementation increases the rate of muscle protein synthesis in older adults: a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr*. 2011;93:402-12. doi:10.3945/ajcn.110.005611
48. Hutchins-Wiese HL, Kleppinger A, Annis K, Liva E, Lammi-Keefe CJ, Durham HA *et al*. The impact of supplemental n-3 long chain polyunsaturated fatty acids and dietary antioxidants on physical performance in postmenopausal women. *J Nutr Health Aging*. 2013;17:76-80. doi:10.1007/s12603-012-0415-3
49. Henwood TR, Taaffe DR. Detraining and retraining in older adults following long-term muscle power or muscle strength specific training. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2008;63:751-8.
50. Leenders M, Verdijk LB, van der Hoeven L, van Kranenburg J, Nilwik R, van Loon LJC. Elderly men and women benefit equally from prolonged resistance-type exercise training. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2013;68:769-79. doi:10.1093/gerona/gls241
51. Thomas DR. Loss of skeletal muscle mass in aging: examining the relationship of starvation, sarcopenia and cachexia. *Clin Nutr*. 2007;26:389-99. doi:10.1016/j.clnu.2007.03.008
52. American College of Sports Medicine, Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Fiatarone Singh MA, Minson CT, Nigg CR *et al*. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41:1510-30. doi:10.1249/MSS.0b013e3181a0c95c
53. Makanae Y, Fujita S. Role of Exercise and Nutrition in the Prevention of Sarcopenia. *J Nutr Sci Vitaminol*. 2015;61 Suppl:S125-7. doi:10.3177/jnsv.61.S125
54. Yoshimura Y, Wakabayashi H, Yamada M, Kim H, Harada A, Arai H. Interventions for Treating Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Studies. *J Am Med Dir Assoc*. 2017;18:553.e1-553.e16. doi:10.1016/j.jamda.2017.03.019
55. Martone AM, Marzetti E, Calvani R, Picca A, Tosato M, Santoro L *et al*. Exercise and Protein Intake: A Synergistic Approach against Sarcopenia. *Biomed Res Int*. 2017;2017. doi:10.1155/2017/2672435