

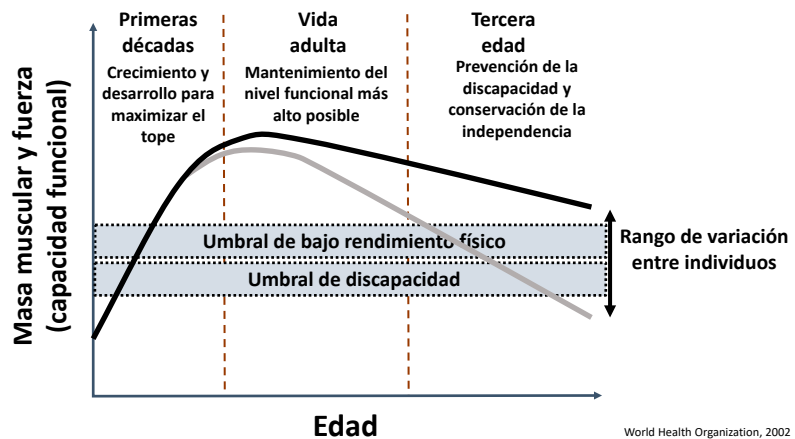
# La maquinaria muscular, fuente insuperable de beneficios

J. Ildefonso **Arocha-Rodulfo**

La capacidad funcional comprende un conjunto de cualidades corporales tales como la capacidad aeróbica, la movilidad articular, la velocidad de desplazamiento y de reacción, la agilidad, la coordinación, el equilibrio, la composición corporal, la fuerza y resistencia muscular y, fundamentalmente, está condicionada por el estatus de la maquinaria muscular, la cual rige y condiciona a su vez las actividades de la vida cotidiana y es un determinante en la prevención y tratamiento de diversas enfermedades crónicas; por tales circunstancias, se ha convertido en un foco de atención por sus implicaciones y beneficios globales para la salud, independiente de la edad, sexo o etnia (Mahecha, 2021).

Alrededor de la mitad del peso corporal está representado por los músculos que se dividen en tres grandes categorías, según su función: esquelético, cardíaco y liso. Cada tipo de tejido muscular en el cuerpo humano tiene una estructura única y una función específica. El músculo esquelético, junto con el sistema óseo, constituyen el aparato locomotor que posibilita movilizarnos gracias a las articulaciones y otra serie de elementos que permiten una delicada pero estrecha vinculación entre el aparato locomotor y el sistema nervioso central (SNC) para la coordinación de los movimientos. El músculo cardíaco contrae el corazón para bombear sangre de manera sistemática, noche y día, para irrigar a todos los tejidos del organismo. El músculo liso, innervado por el sistema nervioso autónomo,

**Figura 1.** La capacidad funcional, expresión de la masa muscular y su fortaleza, varían a lo largo de la vida: aumentan en la juventud y adultez joven, se estabilizan en el término medio de la vida y merman con el envejecimiento. Obsérvese que el descenso es más lento (curva superior) en unos que en otros (línea interrumpida), lo cual significa que estos últimos tienen menor capacidad funcional y con toda seguridad llevaron una vida más sedentaria con mínima actividad física.



está dispuesto anatómicamente alrededor de órganos huecos como el estómago, el intestino y la vejiga, o en órganos más delicados como el ojo, para graduar la entrada de luz a la retina, o en los minúsculos músculos del oído.

El objetivo este trabajo es exponer una visión sucinta de las excepcionales propiedades del músculo esquelético, su importancia para la salud en general, y la cardiometabólica en particular, y su deterioro funcional con el envejecimiento.

#### PECULIARIDADES DE LA MASA MUSCULAR

Por muchos años el músculo esquelético fue considerado como una entidad cuya función principal era la deambulación, los cambios de posición y el equilibrio, conceptos que se han modificado en las últimas décadas gracias a un mejor conocimiento, lo que nos permite destacar algunas cualidades en su constitución y funcionamiento:

a. Su número alcanza más de 600 músculos, que representan cerca del 40 % del peso corporal; esta proporción es mayor en los atletas y menor en los ancianos y en los sedentarios (Mahecha, 2021).

b. A diferencia de otros tejidos, tiene una inusitada propiedad de regeneración en corto tiempo, con una estructura dinámica de excepcional capacidad intrínseca de adaptación metabólica a un sin número de estímulos (ambientales, nutricionales, por enfermedad o entrenamiento), cualidad que es definida como plasticidad, la cual es superior a la de muchos tejidos del organismo (Vargas-Pacheco y Correa-López, 2020).

c. Es un modulador del ritmo circadiano por contener la más grande colección de relojes periféricos del cuerpo humano para mantener la energía corporal y el sustrato metabólico (Juliana *et al.*, 2023).

d. Es el órgano metabólico más grande de nuestro cuerpo, además del hígado, y desempeña una función clave en el metabolismo de los glúcidos y de los lípidos. De hecho, es responsable de la captación de cerca del 80 % de la glucosa posprandial en los seres humanos (Gutierrez-Monreal *et al.*, 2020).

e. Durante la contracción muscular produce una serie de sustancias, denominadas miocinas o mioquinas, que ejercen funciones específicas sobre otros sistemas o tejidos del organismo como el cerebro, el hueso, el páncreas, el sistema inmune, etcétera (Severinsen y Pedersen, 2020).

#### EVOLUCIÓN DE LA MASA MUSCULAR

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha desarrollado el ciclo vital como un marco conceptual en que el patrón o guía es la capacidad funcional (por ejemplo, la capacidad de ventilación, la fuerza muscular, el rendimiento cardiovascular), que aumenta en la niñez y llega a su máximo en los adultos jóvenes, seguida con el tiempo del menoscabo propio de la tercera edad (World Health Organization, 2002).

Esta velocidad de deterioro de la capacidad funcional está determinada en gran parte por factores relacionados con el modo de vida durante la juventud y la adultez joven, especialmente por el

grado de actividad física, incluyendo el desarrollo muscular y el régimen alimentario (Figura 1).

#### **CAPACIDAD FUNCIONAL DURANTE EL CICLO VITAL**

La fuerza y poder o potencia del músculo esquelético declina con el paso de los años bajo las siguientes premisas (Mahecha, 2021; Morgan y Patridge, 2020):

Puede iniciarse alrededor de los 35 años, dependiendo de si la persona es activa o sedentaria.

Cursa a una velocidad de 1 % a 2 % por año para la mayoría de las personas, acelerándose a un 3 % a partir de los 60 años.

Por cada década por encima de los 40 años, el poder de la masa declina en 17 % y la fortaleza en 10 %.

A la edad de 70 años se habrá perdido el 51 % del poder y el 30 % de la fortaleza. Se pierde poder casi al doble de lo que se pierde en fortaleza.

Según los hábitos (activo o sedentario), esta pérdida puede ser leve, moderada o severa; aunque, en promedio para un adulto sedentario, puede llegar a ser de 2 a 3 kg de músculo por década, siendo esta masa reemplazada por grasa, razón por la cual no se modifica el peso corporal. Lo grave de este recambio es la pérdida de células que son beneficiosas para la salud; en su lugar aparecen otras poco o nada funcionales que incluso pueden ser perjudiciales.

#### **LOS MENSAJEROS DEL TRABAJO MUSCULAR**

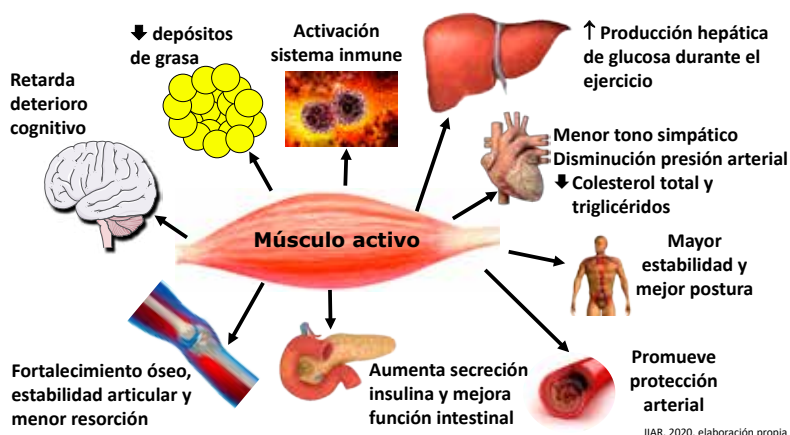
Desde hace casi medio siglo el músculo esquelético se ha considerado como un tejido metabólicamente activo con funciones autocrinas, paracrinas y endocrinas que pueden regular su propio metabolismo, y con influencia moduladora en otros tejidos como el adiposo, el hígado o el cerebro. Pedersen y colaboradores (2007) han determinado que el músculo produce una serie de compuestos a los que les dio el nombre de miocinas o mioquinas, péptidos sintetizados y liberados por el miocito en respuesta a las contracciones musculares. Actualmente se especula que existen cientos de estos compuestos y solo en el 5 % se ha identificado claramente sus funciones.

Las mioquinas están involucradas en procesos imprescindibles en los mecanismos de comunicación con otros tejidos (*cross-talking*) durante la actividad muscular, lo que puede resultar en efectos biológicos, como ha sido comprobado en la prevención, alivio e incluso tratamiento de varias enfermedades crónicas, desde las cardiovasculares hasta el cáncer y la depresión (Severinsen y Pedersen, 2020).

La interleucina-6 o interleuquina-6 (IL-6) es la mioquina más estudiada y conocida. Es liberada a la circulación durante la contracción muscular en altas concentraciones (hasta 100 veces, dependiendo de tipo, intensidad y densidad del ejercicio) para mejorar la gestión de la glucosa aumentando la sensibilidad de la insulina. Optimiza los procesos metabólicos, posee efectos antiinflamatorios al regular la inflamación aguda e inhibe las concentraciones circulantes del factor alfa de necrosis tumoral (TNF- $\alpha$  por su siglas en inglés) y, por ende, contrarresta la resistencia a la insulina, estimula la producción de otras citoquinas como la IL-1 $\alpha$  y la IL-10 y participa en la reducción de la adiposidad visceral, la cual juega un papel importante en la producción de adipocitoquinas proinflamatorias y del sistema renina angiotensina.

Otras citoquinas musculares son las exerquinas (*exerkines*), que comprenden factores humorales (péptidos, metabolitos y microRNAs, que no son más que RNA –*ácidos ribonucleicos*– pequeños no codificados que controlan la expresión de genes a nivel postranscripcional por degradación o inhibición de la translación del mRNA), secretados en la circulación por cualquier órgano como respuesta al ejercicio agudo o por el entrenamiento. Estas exerquinas pueden ser secretadas directamente en la circulación o transportadas por vehículos extracelulares como exosomas y sus dianas moleculares, y receptores que se encuentran a todo lo largo del organismo, incluyendo músculo esquelético, tejido graso, hígado, páncreas, hueso, corazón, sistema inmune y células cerebrales, aunque todavía no se conocen a cabalidad sus funciones.

**Figura 2.** Acciones pluridimensionales beneficiosas sobre la salud del músculo activo. Los efectos beneficiosos del músculo activo cubren a todos los tejidos y órganos del cuerpo, especialmente en las condiciones cardiometabólicas (enfermedad cardiovascular aterosclerótica, diabetes tipo 2 y prediabetes, sobrepeso u obesidad, e hipertensión arterial) con una relación de dosis respuesta. Simplemente: mayor duración y mayor esfuerzo, mejores resultados.



JJAR, 2020, elaboración propia

## TRABAJO MUSCULAR, LA MEJOR MEDICINA

El entrenamiento de fuerza o de resistencia es uno de los pilares para retardar la progresión de la sarcopenia (pérdida de la masa muscular y de la fuerza que ocurre con el envejecimiento); puede realizarse por medio del uso de pesas, máquinas, tubos elásticos o el mismo peso corporal (sentadillas, lagartijas, natación, etc.).

Además, este tipo de ejercicio es imprescindible en el binomio músculo-hueso que funciona en un sistema de retroalimentación positiva: lo que es bueno para el músculo lo es para el hueso y viceversa, ya que la contracción muscular fomenta su fortaleza y retarda la pérdida de la masa ósea, que avanza más rápidamente en las personas sedentarias. En resumen, los ejercicios de resistencia conllevan a huesos más fuertes y densos, menor pérdida de masa muscular y mayor estabilidad corporal.

Esto no excluye que otros tipos de ejercicios (como el caminar) o prácticas deportivas (ciclismo o natación) tengan un menor rendimiento o beneficio, es tan solo por la ventaja de que se pueden realizar en casa y a cualquier hora del día. Más aún: la combinación de ambas estrategias rinde mayores beneficios sobre la salud en general.

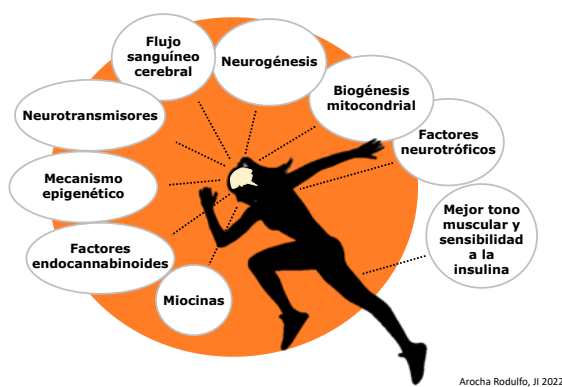
La puesta en juego de la maquinaria muscular a través de la práctica rutinaria de ejercicios o deportes tiene efectos significativos sobre la salud y ningún órgano o sistema escapa a ellos (Figura 2).

## ACTIVIDAD MUSCULAR Y DETERIORO COGNITIVO

Comúnmente, los beneficios de la actividad muscular se relacionan con la esfera cardiometabólica y se recomiendan para bajar de peso, controlar la presión arterial elevada, la glucemia o los lípidos elevados. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, no existe órgano o tejido que escape de los efectos favorables del ejercicio, y especialmente el SNC en lo referente a la esfera cognitiva (Figura 3).

Los efectos neurocognitivos del ejercicio se han analizado desde su papel en la perfusión y el volumen cerebral, la neuroplasticidad sináptica, la conectividad y los procesos de neurogénesis y sinaptogénesis, que varían según la intensidad, tipo y duración del ejercicio, así como por el efecto en la prevención o retardo en la progresión de enfermedades neurodegenerativas, a sabiendas de que, hasta el momento, ningún procedimiento o medicamento es realmente efectivo para su tratamiento, y de que tales condiciones tienden a progresar hasta la discapacidad total generando inmensos costos personales y socioeconómicos (Vargas Pacheco y Correa-López, 2022; Severinsen y Pedersen, 2020; Pedersen *et al.*, 2007; Babaei y Azari, 2022).

Recientemente se ha podido saber de la existencia de una conexión músculo-cerebro influyente en comportamientos complejos dependientes del cerebro, como la depresión, los patrones de sueño y la biosíntesis de neurotransmisores. Por otro lado, la señalización de mioquinas adapta el comportamiento de la alimentación para satisfacer las demandas de energía del músculo esquelético.



**Figura 3.** Mecanismos potenciales del beneficio neurocognitivo del ejercicio. Entre los mecanismos de acción se cuentan: la mejora en el flujo sanguíneo, particularmente en el hipocampo, un área importante para el aprendizaje y la memoria; incremento en la integridad de la materia gris y de regiones cerebrales (neurogénesis), particularmente el hipocampo, y de la materia blanca en áreas relacionadas con la memoria en sujetos con deterioro cognitivo leve; acciones neurotróficas de ciertas mioquinas como la irisina, el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF), la fractalquina, el factor 21 de crecimiento del fibroblasto (FGF21), la catepsina B (CTSB), la apelina y el factor de crecimiento similar a la insulina (IGF-1) involucrados en la plasticidad del hipocampo y la memoria a largo plazo; por acción de neurotransmisores, ya que aumentan las catecolaminas circulantes, resultando en mayor capacidad de retención de la memoria a mediano y largo plazo.

Al contrario de las mioquinas protectores inducidas por el ejercicio y las vías de señalización asociadas, la inactividad y el deterioro muscular pueden afectar la expresión y secreción de mioquinas y, a su vez, comprometer la función del SNC (Vargas Pacheco y Correa-López, 2022; Severinsen y Pedersen, 2020; Pedersen *et al*, 2007). En virtud de ello, se especula que adaptar la señalización del músculo al SNC mediante la modulación de las mioquinas y miometabolitos, puede combatir la neurodegeneración y las enfermedades neurológicas relacionadas con la edad (Rai y Demontis, 2022).

## REFLEXIONES FINALES

El músculo esquelético es un tejido dinámico con una sorprendente habilidad intrínseca de adaptación metabólica; esta propiedad decae notoriamente con la obesidad, el desuso y el sedentarismo, debido a la acumulación intramuscular de lípidos que, a su vez, entorpece la función y la capacidad de las mitocondrias, organelos intracelulares que son los generadores de energía para la contracción muscular.

La estimulación nerviosa, junto con la señalización del calcio y los cambios metabólicos que ocurren en la contracción muscular, probablemente sean los instigadores de las adaptaciones del músculo al ejercicio. Estas señales varían dramáticamente, tanto en calidad como en cantidad, en respuesta a los diferentes tipos de ejercicio, su intensidad y duración. Por su parte, los efectos de la actividad física sobre el organismo difieren

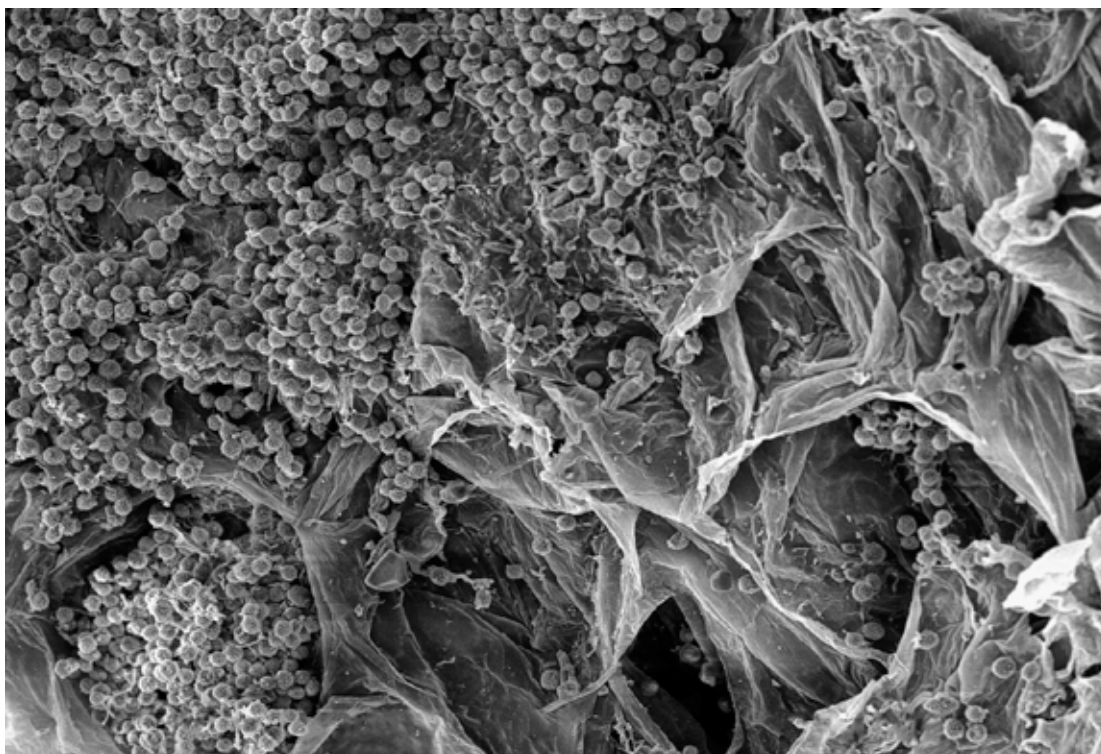
ampliamente dependiendo del tipo de ejercicio, dosis, intensidad y frecuencia, así como también existe una amplia variabilidad interindividual de adaptación (Vargas-Pacheco y Correa-López, 2022; Morgan y Patridge, 2020; Babaei y Azari, 2022).

Actualmente es indiscutible que una contextura muscular deficiente se relaciona con mayor morbilidad, mortalidad y progresión de la sarcopenia, cuyos efectos afectan todas las manifestaciones de la fuerza y se expresan fundamentalmente en la disminución de la potencia, la velocidad de la marcha, el incremento en el riesgo de caídas y la reducción de la capacidad para llevar a cabo las actividades de la vida diaria, lo cual también tiene implicaciones en la funcionalidad de las personas mayores, especialmente para su calidad de vida al aumentar el riesgo de discapacidad y dependencia.

La evidencia disponible señala que la prevención o atenuación de la inflamación, a través de la actividad física, es un mecanismo potencialmente efectivo en la protección contra el desarrollo de enfermedades crónicas, y tales reducciones en la inflamación sistémica han sido detectadas en sujetos aparentemente sanos, así como también en condiciones crónicas como enfermedad cardiovascular, diabetes tipo 2, cáncer de mama y cáncer de colon.

Visto que la capacidad funcional merma con el envejecimiento y que un buen desarrollo del tejido muscular amortigua o, al menos en parte, retarda dicho deterioro, se hace imperativa, dentro de la población general, la educación y promoción del





deporte y del ejercicio para fortalecer la masa muscular en las primeras cuatro décadas de la vida, mantenerla en las décadas siguientes y minimizar la pérdida en el adulto mayor. El deterioro de la masa muscular esquelética representa un serio problema de salud pública mundial, especialmente en la tercera edad, por los riesgos de la dependencia y los elevados costes en la seguridad social. Hasta el momento, la actividad física programada y vigorosa es la única estrategia comprobada para ralentizar la declinación funcional que ocurre al envejecer.

## REFERENCIAS

- Babaei P and Azari HB (2022). Exercise training improves memory performance in older adults: a narrative review of evidence and possible mechanisms. *Front Hum Neurosci* 15:771553. doi:10.3389/fnhum.2021.771553.
- Gutierrez-Monreal MA, Harmsen JF, Schrauwen P and Esser KA (2020). Ticking for metabolic health: the skeletal-muscle clocks. *Obesity* (Silver Spring). 28 Suppl 1 (Suppl 1):S46-S54. doi:10.1002/oby.22826.
- Juliana N, Azmi L, Effendy NM et al (2023). Effect of circadian rhythm disturbance on the human musculoskeletal system and the importance of nutritional strategies. *Nutrients* 15(3):734. doi:10.3390/nu15030734.
- Mahecha Matsudo SM (2021). Poder del músculo esquelético en la salud y enfermedad. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo* 4(4). doi:10.35454/rncm.v4n4.288.
- Morgan J and Partridge T (2020). Skeletal muscle in health and disease. *Dis Model Mech* 13(2):dmm042192. doi:10.1242/dmm.042192.
- Pedersen BK, Akerström TC, Nielsen AR and Fischer CP (2007). Role of myokines in exercise and metabolism. *J Appl Physiol* 103(3):1093-98. doi:10.1152/japphysiol.00080.2007.
- Rai M and Demontis F (2022). Muscle-to-Brain signalling via myokines and myometabolites. *Brain Plast* 8:43-63. doi:10.3233/BPL-210133.
- Severinsen MCK and Pedersen BK (2020). Muscle-Organ cross-talk: the emerging roles of myokines. *Endocr Rev* 41(4):594-609. doi:10.1210/edrev/bnaa016.
- Vargas-Pacheco A y Correa-López LE (2022). El ejercicio como protagonista en la plasticidad muscular y en el músculo como un órgano endocrino: Implicaciones en las enfermedades crónicas. *Rev. Fac. Med. Hum* 22(1):181-192; doi: 0.25176/RFMH.v22i1.4129.
- World Health Organization (2002). Active ageing: A Policy Framework. Geneva: World Health Organization.

**J. Ildefonso Arocha-Rodulfo**  
**Sociedad Venezolana de Cardiología**  
**Claret Outpatient Clinic**  
**Caracas, Venezuela**  
**jiarocha@gmail.com**