

# ACTIVIDAD FÍSICA E INFLAMACIÓN

---

Esaú Alfredo Castellanos Yáñez, Brisa Arely Oviedo Yáñez, Wendy Daniella Rodríguez García

*Estoy tratando de decirte  
que me desespero de esperarte,  
que no salgo a buscarte porque sé  
que corro el riesgo de encontrarte.*

Joaquín Sabina

## RESUMEN

En el presente capítulo se propone una perspectiva diferente de la actividad física que, si bien inicia con la clásica acepción de los movimientos corporales, también abarca la planificación de esos movimientos (ejercicio físico), su aplicación en el área de la salud y el efecto inflamatorio como respuesta a la estimulación del tejido muscular esquelético, además de destacar la vinculación de la inflamación con el inicio de la evolución humana.

La inflamación causada por el ejercicio se ha relacionado con la supervivencia de los organismos capaces de producir movimiento, en contraste con la inflamación producida por la inactividad física y el tejido adiposo. Si se toma en cuenta la alta prevalencia de sobrepeso, obesidad y sedentarismo en México, resulta apremiante promover estrategias como la actividad física y el ejercicio que proporcionen beneficios a la salud mediante la estimulación y la promoción de un ambiente antiinflamatorio en el cuerpo humano el cual, a su vez, incremente la eficiencia del sistema inmunológico.

## ACTIVIDAD FÍSICA

La literatura científica define a la actividad física como cualquier movimiento corporal resultado de la contracción muscular que aumenta el gasto energético basal. La cantidad de energía oxidada (medida en kilocalorías) asociada con la actividad física estará determinada por

la cantidad de masa muscular que genera el movimiento corporal, además de la intensidad, duración y frecuencia de las contracciones musculares. En la vida cotidiana, la actividad física y su correspondiente gasto energético puede realizarse en tres escenarios: al dormir, durante el tiempo laboral o en actividades de ocio. Existe una subcategoría de la actividad física conocida como “ejercicio”, el cual se caracteriza por ser planificado, estructurado, repetitivo y dirigido hacia un fin concreto, ya sea el mejoramiento, el mantenimiento o el desarrollo de alguna aptitud física.<sup>1</sup>

La actividad física no es sólo una reducción conceptual de movimientos que derivan en cierto gasto energético determinado por el volumen y la intensidad a la que se realiza; se trata del inicio de la evolución humana, el movimiento que inicialmente funcionó para el desplazamiento por supervivencia ha sido sustancialmente el catalizador de muchas otras funciones orgánicas, incluidas las de orden neural y de transmisión de impulsos bioeléctricos que, a fin de cuentas se traducen en el sistema nervioso central (SNC) como procesos de estímulos inflamatorios que se originan en el musculo esquelético, viajan al SNC y retornan a otros sistemas y al propio músculo.

La actividad física representa los movimientos que incluyen gasto calórico en la cotidianidad, el trabajo, el ocio y el tiempo libre. Estas actividades se relacionan estrictamente con las cualidades y capacidades del sujeto que las realiza (sin que por fuerza esté calculado el gasto energético), el tipo de movimiento con un objetivo específico asociado por lo común con la salud (aunque no necesariamente estén ligados); en este sentido, para que las actividades físicas que realiza el sujeto tengan un objetivo particular, tendrán que transformarse en una seriación planificada y determinada por lo que el sujeto puede y, sobre todo, podrá hacer.

A este conjunto de actividades físicas se le denomina “ejercicio físico”, el cual consiste entonces de una serie planificada de movimientos con las características morfo-fisiológicas del sujeto y objetivos claros no competitivos o reglamentados. En este apartado existe una pequeña discusión sobre si las actividades ludo-recreativas de orden competitivo se consideran ejercicio físico o entrenamiento deportivo, por lo que se les ha otorgado la categoría de “recreación física”.

En el área de la salud existen guías para recomendar actividad física y ejercicio, como la propuesta por el Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM, por sus siglas en inglés), para lo cual se requiere distinguir entre los conceptos actividad física, ejercicio y su relación con la inflamación.<sup>2</sup>

## INFLAMACIÓN

La palabra inflamación proviene del latín *inflammatio* y del griego *empyresis*. En la literatura médica, estos términos se empleaban para indicar hinchazón y calentamiento de un órgano corporal, pero en la actualidad la inflamación se define como parte de una respuesta biológica compleja de los tejidos vasculares y linfoides a estímulos dañinos como pató-

genos o daño celular. Esta respuesta biológica incluye protección orgánica para remover las causas del ataque al organismo e iniciar el proceso de curación; desde ese enfoque, la inflamación es considerada como un mecanismo de inmunidad innata.<sup>3</sup>

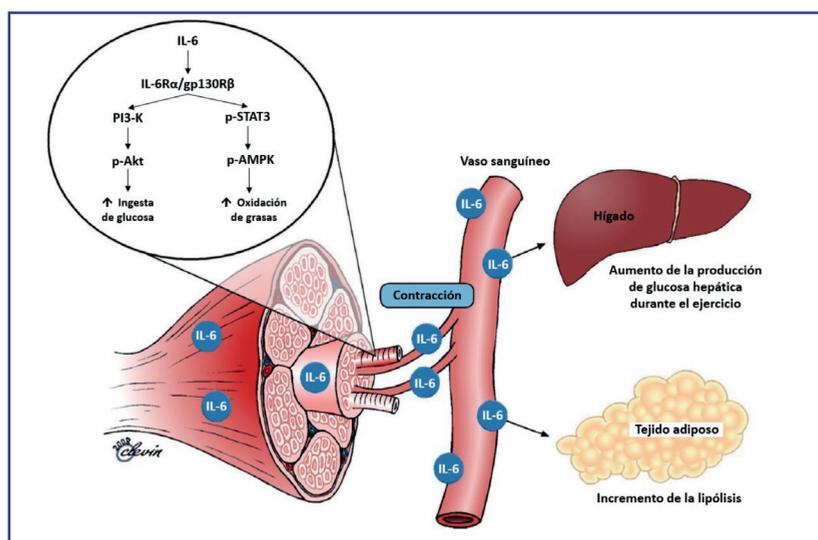
## INFLAMACIÓN RELACIONADA CON LA ACTIVIDAD FÍSICA

El músculo es un órgano autocrino, paracrino y endocrino compuesto por fibras o células musculares (miocitos) que al momento de contraerse liberan miosinas (citocinas), las cuales influyen en el metabolismo de otros órganos y tejidos.

Desde el siglo pasado se han realizado investigaciones que demuestran la producción de citocinas por el ejercicio físico y, como consecuencia, se ha propuesto el vínculo entre el efecto de las contracciones del músculo esquelético y los cambios en el sistema inmune.<sup>4</sup>

Durante la contracción muscular se liberan interleucinas proinflamatorias como interleucina 6 (IL-6) (asociada, en un principio, con daño celular) que actúan como activadores de glucogenólisis hepática y lipólisis mediada por la proteína cinasa activada por AMP (AMPK) para asegurar energía adicional a los músculos relacionados con la contracción muscular por el ejercicio. Por tal razón, la IL-6 proveniente del músculo esquelético se ha identificado como un intermediario metabólico clave y sensor de energía que funciona para preservar la disponibilidad de combustible durante el esfuerzo (Figura 1).<sup>4,5</sup>

Además del efecto proinflamatorio, el ejercicio también ejerce un efecto antiinflamatorio mediante la producción de cortisol, adrenalina, aumento en los macrófagos subtipo 2 (M2),

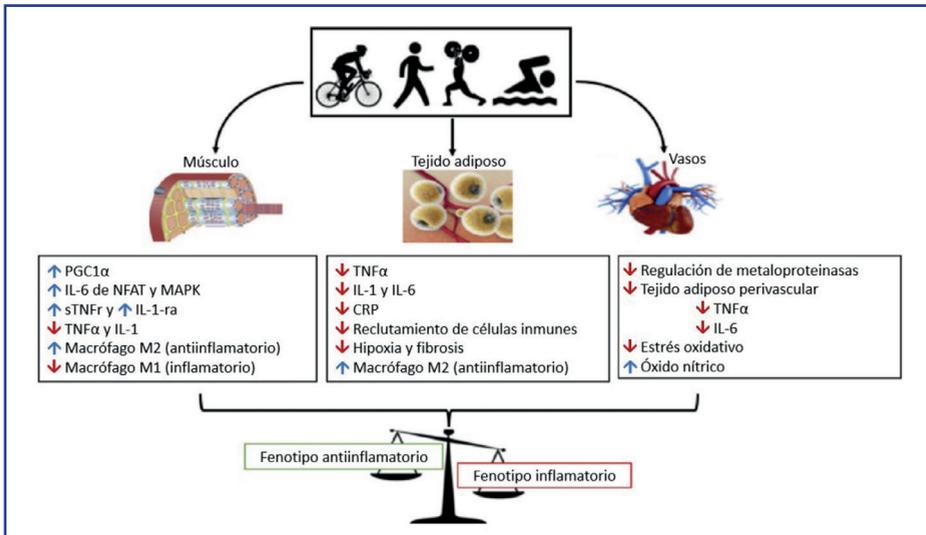


**Figura 1.** Rol biológico de la IL-6 inducida por la contracción muscular.

Fuente: tomada y modificada de Pedersen et al., 2008.<sup>4</sup>

disminución de los macrófagos subtipo 1 (M1) y aumento de la IL-10. Esta última citocina antiinflamatoria inhibe a su vez la síntesis de mediadores proinflamatorios como IL-1 $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , TNF- $\alpha$ , quimiocinas IL-8 y proteína inflamatoria de macrófagos 1 $\alpha$  (MIP-1 $\alpha$ ).<sup>6</sup>

La compensación de la síntesis de citocinas antiinflamatorias sugiere que el ejercicio promueve un ambiente antiinflamatorio en el cuerpo humano, posterior a la sesión de ejercicio en la que ocurre la liberación de citocinas proinflamatorias, se genera una reacción antiinflamatoria y regeneración muscular en un periodo de 24 a 72 horas después del ejercicio. Las personas sanas y entrenadas en concordancia con el rendimiento físico son más sensibles a la IL-6; por el contrario, las personas no entrenadas muestran un deterioro de la señalización IL-6 y niveles compensatorios altos de IL-6 circulante (**Figura 2**).<sup>4,5</sup>



**Figura 2.** El ejercicio puede promover fenotipo antiinflamatorio en diferentes tejidos. PGC1 $\alpha$ : proteína 1 $\alpha$  coactivadora del receptor activado por el proliferador de peroxisomas, IL-6: interleucina 6, NFAT: factor nuclear de células T activadas, MAPK: proteína quinasa activada por mitógeno, sTNFR: receptores solubles del factor de necrosis tumoral, IL-1ra: antagonista del receptor de interleucina 1, TNF- $\alpha$ : factor de necrosis tumoral alfa, IL-1: interleucina 1, CRP: proteína C reactiva. Fuente: tomada y modificada de Metsios et al., 2020.<sup>5</sup>

## INFLAMACIÓN DE BAJO GRADO

En la literatura, la inflamación de bajo grado se describe como una característica común de enfermedades neurodegenerativas, metabólicas y psiquiátricas; sin embargo, existen otras condiciones relacionadas con la inflamación de bajo grado, como la disminución de

la actividad física y el aumento en la adiposidad abdominal. Por lo tanto, el sobrepeso por aumento de tejido adiposo y la obesidad promueven un estado inflamatorio de bajo grado; en este caso, el tejido adiposo actúa como órgano endocrino y paracrino responsable del aumento de mediadores inflamatorios como IL-6 y TNF- $\alpha$ , que estimulará a los macrófagos propios de los adipocitos sobreexpresados tanto en el sobrepeso como en la obesidad, comparado con personas que mantienen un peso saludable.

Burini y colaboradores proponen una perspectiva sobre la importancia de la inflamación como parte de la supervivencia de la humanidad y su relación con reguladores críticos de la inflamación sistémica: la actividad y la inactividad físicas.<sup>7</sup> Si se considera a la inactividad física como el promotor de acumulación de grasa visceral e inflamación crónica, puede esperarse que el desuso muscular promueva la resistencia a la IL-6 y su correspondiente aumento en los niveles circulantes de IL-6 por exceso de tejido adiposo.

## DISMINUCIÓN DE LA INFLAMACIÓN MEDIANTE ACTIVIDAD FÍSICA

La actividad física desempeña un papel importante en la mediación de la carga inflamatoria tanto en circunstancias agudas como crónicas. Existe evidencia sobre la incorporación de hábitos saludables (actividad física y alimentación), derivada de estudios de cohorte o intervenciones (**Tabla 1**) sobre los efectos del ejercicio agudo en la inflamación mediante la evaluación de citocinas producidas por el músculo denominadas “miocinas”, mientras que los efectos en el largo plazo del ejercicio sobre la inflamación se observan principalmente en citocinas derivadas del tejido adiposo denominadas “adipocinas”.<sup>6</sup> Resulta necesario considerar que la clasificación de la actividad física en la literatura puede no coincidir con la realidad interpretativa de la terminología aplicada y las intervenciones.

En el largo plazo se esperaría, con la implementación de actividad física o ejercicio, una reducción en el tejido adiposo y, por ende, la reducción de la inflamación.<sup>5</sup> Es importante considerar que la severidad de la inflamación ocasionada por el ejercicio está directamente relacionada con el tipo, duración e intensidad de la sesión de ejercicio, así como del estado de entrenamiento de la persona; entendiendo la duración como el volumen o tiempo neto de exposición al ejercicio que se ejecuta sin considerar las micropausas, macropausas o traslados y la intensidad, como la cercanía o lejanía al umbral anaerobio del sujeto en función de los MET (unidad de medición metabólica), frecuencia cardiaca, fuerza vencida o milimol de lactato que desarrolle el sujeto durante la ejecución de movimientos. Existen algunas pautas teóricas y prácticas que determinan la intensidad del movimiento según los rangos de movilidad angular por articulación, pero estas llevan error de acuerdo con el grado de adaptación de quien realiza los movimientos.

## PREVALENCIA DE LA INACTIVIDAD FÍSICA, EXCESO DE TEJIDO ADIPOSEO Y ASOCIACIÓN CON MORTALIDAD

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018, 17.3% de la población mayor de 20 años no cumplió con los criterios mínimos establecidos por la Organización

**Tabla 1.** Evidencia sobre los efectos de la actividad física o el ejercicio en la inflamación

Población y diseño de estudio (autor, año)	Características de actividad física o ejercicio	Resultados en citocinas pro- y antiinflamatorias
<p>Revisión sistemática y metaanálisis de 1,250 personas sanas de 40 a 95 años (11 ensayos clínicos aleatorizados) con el objetivo de evaluar el efecto del ejercicio aeróbico en marcadores de inflamación (Zheng, 2019)<sup>8</sup></p>	<p>La intervención consistió en cualquier estilo de ejercicio aeróbico o combinado (Tai chi, caminadora, ejercicios de banco, otros estudios no describen la intervención). Duración mínima: 8 semanas con al menos 3 sesiones a la semana de 20-90 min. 8 estudios reportaron una intensidad de 45-80% de la FCM</p>	<p>Resultados en 7 estudios: disminución de PCR (SMD=0.53; IC 95%: 0.26-0.11, p=0.0002), comparado con control Resultados en 5 estudios: disminución de TNF-<math>\alpha</math> (SMD=0.75, IC 95%: 0.31-1.19, p=0.0007) Resultados en 6 estudios: disminución de IL-6 (SMD=0.75, IC 95%: 0.31-1.19, p=0.0007), comparado con control</p>
<p>Estudio transversal con 3,289 personas de 50-70 años. Asociación entre niveles de actividad física y perfil de inflamación. (Yu, 2009)<sup>9</sup></p>	<p>Actividad física por autorreporte utilizando el IPAQ</p>	<p>Las personas con niveles bajos, medios y altos de actividad física tuvieron concentraciones plasmáticas de PCR: 1.58, 1.74 y 1.27 mg/l (p=0.0138), respectivamente. En el modelo multivariado ajustado, las personas con niveles de ejercicio elevados tuvieron menos riesgo de síndrome metabólico (OR=0.68, IC 95%: 0.54-0.85, p=0.001) comparado con personas con niveles menores de actividad física</p>
<p>Ensayo clínico aleatorizado con 42 hombres sedentarios de 45-64 años (Thompson, 2010)<sup>10</sup></p>	<p>Intervención por 6 meses. Las modificaciones a los ejercicios se hicieron cada 2 semanas, la duración de cada sesión era de 30-60 min, 3-4 sesiones a la semana con una intensidad de 50-70% del VO<sub>2</sub>max</p>	<p>En el grupo experimental se observó disminución en IL-6 (1.31+0.78 pg/ml* basal comparado con 1.14+0.69 pg/ml* en la semana 26). Sin cambios en PCR o ICAM-1 vs. controles que mantuvieron sus actividades y estilo de vida "habituales". 2 semanas después a la intervención (sin entrenamiento), se observó reversión de la IL-6 circulante a los niveles previos a la intervención, lo que apunta a una influencia directa del entrenamiento</p>
<p>Efectividad de intervención basada en promoción de caminata en una comunidad escocesa, 48 personas de 48 años, en promedio (Gray, 2009)<sup>11</sup></p>	<p>Intervención por 12 semanas. En el grupo experimental se incrementó gradualmente la caminata 3 mil pasos 5 días a la semana: de 6,682 a 10,182 pasos/día en comparación con el control, que se mantuvo en 6,356 pasos/día</p>	<p>Sin cambios en PCR, IL-6, sIL-6R, TNF-<math>\alpha</math>, sTNFR1, sTNFR2</p>

<p>Ensayo clínico aleatorizado que evaluó el efecto del entrenamiento, dieta o combinación para disminuir de peso y marcadores de inflamación circulantes en 79 personas con obesidad (Christiansen, 2010)<sup>12</sup></p>	<p>Intervención por 12 semanas, se generaron 3 grupos aleatorios:                      1) Ejercicio                      2) Dieta hipocalórica                      3) Dieta y ejercicio                      No se describen las sesiones supervisadas de ejercicio aeróbico, 3 sesiones/semana de 60-75 min</p>	<p>VO<sub>2</sub>max incrementó 14% en el grupo de ejercicio y 18% en el grupo de dieta y ejercicio                      No se observaron cambios en los marcadores de inflamación circulantes en el grupo que realizó sólo ejercicio (IL-6, IL-15, IL-18, MCP-1, MIP1<math>\alpha</math>)                      En los otros 2 grupos se observó disminución significativa en peso corporal (11.2 y 12.2 kg) y en el grupo de ejercicio y dieta disminución significativa de niveles de IL-6 (p&lt;0.05)</p>
<p>Ensayo clínico con 12 personas con sobrepeso/obesidad de 23.7 años en promedio (Leggate M, 2012)<sup>13</sup></p>	<p>Intervención: entrenamiento intermitente de alta intensidad (HIIT) 3 sesiones/semana durante 2 semanas. 10 intervalos de 4 min                      VO<sub>2</sub>max: 85% (equivalente a 89.5% de la FCM)</p>	<p>Disminución en plasma de sIL-6R; p=0.050, disminución de IL-6 en tejido adiposo de 33% (p=0.036)</p>

FCM: frecuencia cardiaca máxima; PCR: proteína C reactiva; SMD: diferencia media estandarizada; IPAQ: Cuestionario Internacional de Actividad Física; VO<sub>2</sub>max: volumen máximo de oxígeno consumido durante un minuto de ejercicio intenso; ICAM-1: marcador de disfunción endotelial; \*interacción tratamiento x tiempo.  
 Fuente: Zheng et al., 2019,<sup>8</sup> Yu et al., 2009,<sup>9</sup> Thompson et al., 2010,<sup>10</sup> Gray et al., 2009,<sup>11</sup> Christiansen et al., 2010<sup>12</sup> y Leggate et al., 2012.<sup>13</sup>

Mundial de la Salud (OMS) para ser considerada físicamente activa; es decir, semanalmente realizaba menos de 150 minutos de actividad física moderada/vigorosa. Como indicador de sedentarismo, el tiempo promedio frente a la pantalla reportado fue de 3.5 horas.

En cuanto a presencia de tejido adiposo excesivo, si se toma la circunferencia de cintura como referencia, 88.4% presentaba obesidad abdominal (hombres: más de 90 cm y mujeres: más de 80 cm), en tanto que la prevalencia de sobrepeso/obesidad utilizando el Índice de Masa Corporal (IMC) fue de 75.2% en población mayor a 20 años.<sup>14</sup> Se estima que la inactividad física causa 6% de la carga mundial de enfermedades coronarias, 7% de diabetes tipo 2, 10% de cáncer de mama y de colon y 9% de muerte prematura, lo que equivale a aproximadamente cinco millones de fallecimientos anuales relacionados con la inactividad física.<sup>15</sup>

El Estudio de Salud en Hombres de California (n=82,695) con seguimiento a 10 años reportó que el riesgo de desarrollar insuficiencia cardiaca en personas con bajo nivel de actividad física era de 52% y el riesgo para las personas con moderado nivel de actividad física era de 17%, comparado con las personas que tenían los niveles más altos de actividad física.<sup>16</sup>

## BENEFICIOS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA

Además de ser una asignatura curricular desde la educación básica, el ejercicio y la actividad física significan grandes beneficios a la salud, ya que el estímulo metódico lleva al organismo a niveles de estrés similares a algunos procesos patológicos, de tal suerte que, al estar el sistema inmunológico adaptado al ejercicio físico, se incrementa la eficiencia sistémica y responde ante la enfermedad como si se tratara de exposición al esfuerzo. Por ejemplo, la sensación de malestar por el aumento de lactato en sangre (dolor, ardor y calor por las contracciones severas del músculo esquelético) sentida por todas las personas, es mejor tolerada por quienes están acostumbrados al ejercicio vigoroso. Otro ejemplo es el consumo de chile: una cantidad saludable de capsaicina promueve la adaptación al efecto del picante.

Lo anterior concuerda con la reiterada promoción de instituciones como el ACSM, la OMS y las guías internacionales sobre el cuidado de las progresiones en ejercicio físico para disminuir el riesgo de lesión e inflamación (tanto por el incremento en la actividad física como por la disminución del tejido adiposo).

El seguimiento a 46 años de una cohorte de hombres encontró una asociación de cada ml/kg/min de  $VO_2\max$  (IC 95%: 30-61;  $p < 0.001$ ) con 45 días más de vida,<sup>17</sup> ya que el aumento del consumo máximo de oxígeno está vinculado con la aproximación al umbral anaerobio y este es proporcional a sustancias proinflamatorias en el organismo, como el ácido láctico.

## CONCLUSIONES

Es posible diferenciar la actividad del ejercicio físico en función del objetivo y la acciones que se tomen para realizarlo; mientras que la primera puede ser simple o compleja, no siempre se sabe o busca un efecto determinado con ella, mientras que con el ejercicio siempre se busca un efecto del estímulo que promueva la exposición al esfuerzo, este requiere del uso de algunos componentes derivados del entrenamiento deportivo que son el volumen, intensidad, densidad, métodos de ejercicio y ruta metabólica predominante.

En lo que a la salud refiere, la actividad y el ejercicio físico promueven un constante proceso de adaptación a los efectos biológicos de la degradación de los sustratos energéticos y a su eficiencia, por lo que no sólo a nivel metabólico es posible el beneficio, también a nivel biomecánico, propiciando la funcionalidad, la disminución de tejidos pautas para la inflamación no deseada (como el tejido adiposo) y el aumento en el porcentaje de tejidos que promueven la inflamación benéfica (tejido muscular).

## FUENTES CONSULTADAS

1. Caspersen CJ, Powell KE, Cristenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep.* 1985;100(2):126-131.
2. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(7):1334-1359.
3. Lewis TJ, Trempe CL. Chapter 7. Inflammation - Friend or foe? En Lewis TJ, Trempe CL. *The end of Alzheimer's*. 2da edición, Academic Press, 2017.
4. Pedersen BK, Febbraio MA. Muscle as an endocrine organ: focus on muscle-derived interleukin-6. *Physiol Rev.* 2008;88(4):1379-1406.
5. Metsios GS, Moe RH, Kitas GD. Exercise and inflammation. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2020;34(2):101504.
6. Nimmo MA, Leggate M, Viana JL, King JA. The effect of physical activity on mediators of inflammation. *Diabetes Obes Metab.* 2013;15(Suppl3):51-60.
7. Burini RC, Anderson E, Durstine JL, Carson JA. Inflammation, physical activity, and chronic disease: An evolutionary perspective. *Sports Med Health Sci.* 2020;2(1):1-6.
8. Zheng G, Qiu P, Xia R et al. Effect of aerobic exercise on inflammatory markers in healthy middle-aged and older adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Aging Neurosci.* 2019;11:98.
9. Yu Z, Ye X, Wang J et al. Associations of physical activity with inflammatory factors, adipocytokines, and metabolic syndrome in middle-aged and older Chinese people. *Circulation.* 2009;119(23):2969-2977.
10. Thompson D, Markovitch D, Betts JA et al. Time course of changes in inflammatory markers during a 6-mo exercise intervention in sedentary middle-aged men: a randomized-controlled trial. *J Appl Physiol* (1985). 2010;108(4):769-779.
11. Gray SR, Baker G, Wright A et al. The effect of a 12 week walking intervention on markers of insulin resistance and systemic inflammation. *Prev Med.* 2009;48(1):39-44.
12. Christiansen T, Paulsen SK, Bruun JM, Pedersen SB, Richelsen B. Exercise training versus diet-induced weight-loss on metabolic risk factors and inflammatory markers in obese subjects: a 12-week randomized intervention study. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2010;298(4):E824-831.
13. Leggate M, Carter WG, Evans MJC et al. Determination of inflammatory and prominent proteomic changes in plasma and adipose tissue after high-intensity intermittent training in overweight and obese males. *J Appl Physiol* (1985). 2012;112(8):1353-1360.
14. Shamah-Levy T, Vielma-Orozco E, Heredia-Hernández O et al. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-19: Resultados Nacionales. Cuernavaca, México: Instituto Nacional de Salud Pública, 2020.
15. Baggish AL, Eijsvogels TMH. The optimal dose of exercise. En: Pressler A, Niebauer J (eds). *Textbook of sports and exercise cardiology*. Suiza: Springer Nature, 2020:861-878.
16. Young DR, Reynolds K, Sidell M et al. Effects of physical activity and sedentary time on the risk of heart failure. *Circ Heart Fail.* 2014;7(1):21-27.
17. Clausen JSR, Marott JL, Holtermann A et al. Midlife cardiorespiratory fitness and the long-term risk of mortality: 46 years of follow-up. *J Am Coll Cardiol.* 2018;72(9):987-995.