

Kuri-García, A.; García-Solís, P.; Anaya-Loyola, M.A.; Solís-S, J.C.; Méndez-Villa, L.; Camacho-Calderón, N. (2020) Reduction of Fat-Free Mass in Swimmers after Training Period. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 20 (78) pp. 275-288
[Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista78/artreduccion1146.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista78/artreduccion1146.htm)
DOI: <http://doi.org/10.15366/rimcafd2020.78.006>

ORIGINAL

REDUCCIÓN DE MASA LIBRE DE GRASA EN NADADORES DESPUÉS DE UN PERIODO DE ENTRENAMIENTO

REDUCTION OF FAT-FREE MASS IN SWIMMERS AFTER TRAINING PERIOD

Kuri-García, A.¹; García-Solís, P.²; Anaya-Loyola, M.A.³; Solís-S, J.C.⁴; Méndez-Villa, L.⁵ y Camacho-Calderón, N.⁶

¹ Doctor en Ciencias. Egresado de la Maestría en Nutrición Humana. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro (México) aaron.kuri@uaq.mx

² Doctor en Ciencias. Coordinador del Programa de Doctorado en Ciencias en Biomedicina, Facultad de Medicina. Universidad Autónoma de Querétaro (México) pablo.garcia@uaq.mx

³ Doctora en Ciencias. Profesor de la Maestría en Ciencias de la Nutrición Humana. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro (México) aracely.anaya@uaq.mx

⁴ Doctor en Ciencias. Coordinador del Programa de Doctorado en Ciencias en Biomedicina Departamento de Investigación Biomédica, Facultad de Medicina. Universidad Autónoma de Querétaro (México) carlos.solis@uaq.mx

⁵ Doctora en Investigación Médica. Médica. Gerente de operación. Vida Care Diagnóstico. Querétaro (México) lomevi_7@hotmail.com

⁶ Doctor en Ciencias de la Salud y Cardiólogo Pediatra. Jefe de Investigación y Posgrado, Facultad de Medicina. Universidad Autónoma de Querétaro (México) nicolas.camacho@uaq.mx

AGRADECIMIENTOS: Se agradece a todo el equipo de natación participante: nadadores, padres de familia y entrenadores. Después de concluido el estudio a todos los participantes se les entregaron sus resultados de forma individual y las repercusiones generales de forma global. También se orientó al equipo de natación para mejorar su práctica deportiva. Todos los autores declaran que no hay ningún potencial conflicto de intereses con referencia a este artículo.

Código UNESCO / UNESCO Code: 2411.06 Fisiología del ejercicio/ Exercise Physiology.

Clasificación del Consejo de Europa / Council of Europe classification: 6. Fisiología del ejercicio / Exercise Physiology; 11 Medicina del Deporte/ Sports Medicine.

Recibido 19 de junio de 2018 **Received** June 19, 2018

Aceptado 20 de agosto de 2019 **Accepted** August 20, 2019

RESUMEN

En los deportistas la masa libre de grasa (MLG) es una característica física que se busca incrementar para aumentar el rendimiento deportivo. El objetivo de este estudio fue determinar si la reducción de la MLG, expresada como índice AKS, se asocia a alteraciones fisiológicas después de un periodo de entrenamiento en nadadores de 8 a 15 años de edad. Se estudiaron 42 nadadores, después de 15 semanas de entrenamiento se formaron 2 grupos, los que disminuyeron (A) y aumentaron (B) MLG. Se encontró que el grupo A redujo el peso y la masa muscular mientras que en el grupo B aumentó. En el grupo A se observó una disminución en los linfocitos, un aumento en la urea sérica, una disminución en el VO_2 y en la recuperación a un minuto. La reducción de la MLG se asoció con alteraciones fisiológicas que reducen el rendimiento deportivo.

PALABRAS CLAVE: Adolescentes, escolares, índice de sustancia corporal activa (AKS), natación.

ABSTRACT

An increase in fat-free mass (FFM) improves athletic performance. The aim of this study was to determine if a decrease in the FFM, expressed as the AKS index, is associated with physiological alterations after a training period in swimmers between 8-15 years old. Forty-two swimmers participated in this study, after 15 weeks of training the swimmers were divided into two groups, those who decreased (A) and those who increased FFM (B). In group A there was a decrease in both, body weight and muscle mass, while in group B there was an increase in body weight. We found that group A showed a reduction in lymphocytes count, in addition to an increase in serum urea, a decrease in VO_2 , and a decrease in their 1 min recovery. We showed here that a reduction in FFM is positively associated with physiological alterations that reduce athletic performance.

KEY WORDS: Adolescents, schoolchildren, active body substance index (AKS), swimming.

INTRODUCCIÓN

En México el sobrepeso y obesidad (SOB) son un problema de salud pública, se estima que a nivel nacional la prevalencia de SOB en escolares y adolescentes es del 33,2% y 36,3%, respectivamente (Hernández-Ávila *et al.*, 2016). Una de las principales estrategias para la prevención y control del SOB en escolares y adolescentes es la promoción de la actividad física (Barquera *et al.*, 2010; Vera-Estrada *et al.*, 2018). Una forma de promover la actividad física es a través de la práctica deportiva, se ha demostrado que el deporte en escolares y adolescentes

tiene múltiples beneficios fisiológicos y psicológicos (Merkel, 2013). Las adaptaciones fisiológicas positivas que el deporte genera, ocurren si hay un incremento gradual de las cargas del entrenamiento, con la intensidad, duración, y frecuencia adecuados (Pancorbo, 2003). Una de las principales adaptaciones fisiológicas que ocurren por la práctica deportiva son la reducción de la lipoproteínas de baja densidad (LDL) y aumento de las lipoproteínas de alta densidad (HDL); reduciendo el riesgo cardiovascular en escolares y adolescentes (Koozehchian *et al.*, 2014), también disminuyen la frecuencia cardiaca en reposo y la masa grasa, además, aumentan la resistencia ósea, la masa muscular, la masa libre de grasa (MLG), el volumen de oxígeno (VO_2), la reserva de glucógeno, entre otros efectos (Merkel, 2013; Nalcakan, 2014; Stasinaki *et al.*, 2015). Sin embargo, en caso de mayor exigencia en el entrenamiento, el mecanismo de adaptación del deportista puede fracasar debido al estrés generado (Pancorbo, 2003; Brandão *et al.*, 2015). Esta condición generalmente se presenta cuando existe un entrenamiento intenso durante un largo periodo ante eventos de competición y poco tiempo de recuperación entre ellos (Veal, 1991; Meeusen *et al.*, 2006; Kreher y Schwartz, 2012). Como consecuencia, el deportista puede experimentar fatiga, menor rendimiento y cambios en el estado de ánimo (Brandão *et al.*, 2015; Veal, 1991; Griffin *et al.*, 1999). Esto se debe en parte, a un aumento en el catabolismo proteico lo cual promueve una disminución de la masa muscular (Johnson y Thiese, 1992). La importancia de la ganancia de masa muscular durante la actividad deportiva se debe a que aumenta la fuerza, la resistencia, la densidad mineral ósea, el VO_2 y disminuye las lesiones osteomusculares (Hart *et al.*, 1985; Schiplilow *et al.*, 2013).

Para evaluar la ganancia de la MLG en escolares y adolescentes se puede utilizar el índice de sustancia corporal activa (AKS), el cual mide la cantidad de MLG en relación con la estatura de los sujetos (Tittel y Wutscherk, 1972; Henríquez-Pérez *et al.*, 2009). El índice AKS fue descrito y aplicado originalmente en la evaluación del desarrollo muscular en atletas y es útil en la evaluación antropométrica nutricional de escolares y en deportistas en crecimiento y desarrollo, se conoce que es útil para estimar el nivel de desarrollo musculoesquelético (Henríquez-Pérez *et al.*, 2009; Serrato-Roa, 2008).

El presente estudio tiene como objetivo determinar si la pérdida de MLG, estimada con el índice AKS, se asocia con alteraciones fisiológicas en escolares y adolescentes nadadores después de 15 semanas de entrenamiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño y población de estudio

Se realizó un estudio observacional, prospectivo y comparativo. Se invitó a participar a un equipo de natación amateur en Querétaro, México. El equipo estaba formado por 64 escolares y adolescentes de 8 a 15 años. El entrenamiento de los nadadores consistía en 2h en la piscina y 1h en pista al día, 5 días de la semana, durante 15 semanas. Todos los nadadores participantes dominaban los cuatro estilos de la

natación (crol, dorso, pecho y mariposa) y tenían al menos un año entrenando continuamente.

Los objetivos del entrenamiento fueron aumentar las capacidades físicas de los nadadores como resistencia, fuerza, velocidad, flexibilidad, coordinación, equilibrio y agilidad. Durante la realización de este estudio en ningún momento se interfirió con el entrenamiento programado por los entrenadores del equipo. El estudio inició después de una etapa de transición precedido por un periodo vacacional (enero) y concluyó después de una etapa de competencia (abril). Después de las 15 semanas de entrenamiento se conformaron dos grupos de acuerdo con el aumento o la disminución de la MLG expresada como índice AKS. Los escolares y adolescentes que disminuyeron el índice AKS formaron el grupo A y aquellos lo aumentaron formaron el grupo B. Se excluyeron los nadadores que tuvieron alguna lesión durante el periodo del estudio y a los que faltaron más de 3 veces al entrenamiento durante el periodo de 15 semanas. Se eliminaron del estudio aquellos participantes en los que no se realizaron todos los análisis. Todos los nadadores participaron de forma libre y voluntaria bajo el consentimiento informado (libre y esclarecido) firmado por al menos uno de los padres o del tutor. El estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Querétaro (Número de registro 01-07/08/2014) y se observaron los principios de la Declaración de Helsinki.

Medidas antropométricas

El peso, la estatura y las circunferencias de la cintura (CCi) y cadera (CCa) se midieron de acuerdo con los procedimientos estándar (World Health Organization, 1995). Los participantes se pesaron en estado de ayuno utilizando una báscula electrónica (JAWON Medical X-Scan Plus II; Corea). La talla se determinó utilizando un estadiómetro (SECA 206, Alemania) y se determinaron los índices de crecimiento, peso para la edad y talla para la edad e índice de masa corporal (IMC) para la edad. El estado nutricional se determinó utilizando los criterios de la Organización Mundial de la Salud (2008), considerándose al escolar y adolescente con sobrepeso con una puntuación z entre 1 y 1,99 del IMC para la edad, y con obesidad con una puntuación $z \geq 2$.

Análisis de composición corporal

El porcentaje de grasa, la MLG, el tejido blando, la masa muscular, la masa ósea, el agua corporal total, el agua intracelular y el agua extracelular se determinaron mediante bioimpedancia eléctrica tetrapolar usando 8 electrodos táctiles (JAWON Medical X-Scan Plus II; Corea). El índice AKS se calculó con la siguiente fórmula (Henríquez-Pérez *et al.*, 2009): $MLG \text{ en kg/altura } m^3 \times 10$.

Análisis de laboratorio

A todos los participantes, en ayuno, se les tomó una muestra de sangre por punción venosa periférica. Se determinaron las concentraciones séricas de glucosa, urea, creatinina y perfil de lípidos (A15 Biosystems, España) y se realizó una biometría hemática completa (Kx-21N Sysmex, EE.UU.). Para todos los procedimientos de laboratorio se siguieron las indicaciones sugeridas por el fabricante.

Análisis metabólico

El VO_2 , el volumen de CO_2 (VCO_2), el coeficiente respiratorio, el gasto energético (GE) y la frecuencia cardiaca en reposo se determinaron por calorimetría indirecta en reposo con el equipo Cardio-Coach CO_2 (Korr™ Medical Technologies Inc., EE.UU.). A los participantes mayores de 12 años se les realizó una calorimétrica indirecta postprandial en movimiento en un tapiz rodante (Prisma, M10 66110, BH Fitness, Alemania) bajo el protocolo de Bruce modificado (Marshall *et al.*, 2014), manteniendo la pendiente constante a 10° . La calorimetría en movimiento consistió en que cada 3 min se incrementaba 2 km/h comenzando a partir de 4 km/h. La calorimetría indirecta se realizó 2h después de que los sujetos recibieron un desayuno estandarizado y 24h después de su último ejercicio. En la calorimetría en movimiento se determinó el VO_2 , el VCO_2 , el coeficiente respiratorio, el GE y los equivalentes metabólicos (METS). Los METS se definen como el oxígeno consumido en reposo para expresar el GE de la actividad física como un múltiplo de la tasa metabólica en reposo, al umbral aeróbico, al umbral anaeróbico y al pico máximo. También se determinó la recuperación de la frecuencia cardiaca al inicio, al minuto y a los dos minutos. Para descartar problemas cardíacos antes de realizar la calorimetría en movimiento, se realizó un electrocardiograma de superficie de 12 canales (Smart Wav 15 SonoMedic) por parte de un cardiólogo pediatra. Al sujeto, en posición en decúbito ventral se le colocaron los electrodos unipolares y bipolares empleando la técnica pediátrica estándar. El registro se realizó sin haber ingerido bebidas con cafeína o alimento en las últimas 2h.

Análisis estadístico

Los datos iniciales y finales se analizaron con la prueba de t de Student para las variables paramétricas y la prueba de U-de Mann Whitney para las no paramétricas; se aceptó una significancia estadística de $p < 0,05$. Se utilizó el programa estadístico y de gráficos GraphPad Prism 5® (Graph Pad Inc., EE.UU.).

RESULTADOS

De los 64 miembros del equipo se incluyeron a 42 sujetos y 22 sujetos no cumplieron con criterios de inclusión o decidieron no participar. De los 42 participantes 24 (57%) fueron mujeres y 18 hombres, 20 (48%) escolares y 22 (52%) adolescentes. La edad media fue de 11,8 años en la evaluación inicial. Al comparar la medición inicial

versus la final, se observa un aumento en la talla por efecto de la edad; sin embargo, la talla para la edad disminuyó (-8,9%; Tabla 1).

De acuerdo con el IMC para la edad, el porcentaje de nadadores con SOb al inicio del estudio fue del 26%, 10 con sobrepeso y 1 con obesidad (datos no mostrados). Al final del estudio el porcentaje de nadadores con sobrepeso fue del 24% y no se encontró ninguno con obesidad (datos no mostrados). El adolescente con obesidad redujo su IMC para la edad, sin embargo, no cambió su masa grasa (Inicial: 14,4 kg *versus* Final: 14,4 kg); sin embargo, el peso corporal perdido fue a expensas de masa muscular (Inicial: 13,8 kg *versus* Final: 13,4 kg) y el índice AKS también se redujo (Inicial: 1,21 kg/m³ *versus* Final: 1,19 kg/m³) (datos no mostrados). Por otra parte, ningún participante presentó desnutrición energético-proteínica (peso bajo y/o talla baja).

En la Tabla 1 se observan los principales cambios ocurridos en el grupo de estudio como disminución en la frecuencia cardiaca en reposo mientras que los niveles de HDL, LDL, colesterol total y triglicéridos aumentaron. Los niveles de HDL en promedio fueron mayores al rango de normalidad (>60 mg/dl). El 2,3% de los nadadores tenía LDL elevado (>160 mg/dl), un 9,5% con triglicéridos elevados (>150 mg/dl) y un 6,6% con colesterol total elevado (>200 mg/dl). En el 14% se presentaron niveles elevados de hemoglobina, hematocrito y volumen medio corpuscular. Asimismo, se observó que la creatinina aumentó manteniéndose en valores normales y hubo un aumento en el cociente respiratorio.

Tabla 1. Características antropométricas, de composición corporal y bioquímicas de los escolares y adolescentes nadadores después de 15 semanas de ejercicio intenso.

| Variable | Medición inicial (n=42) | Medición final (n=42) | <i>p</i> |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------|
| Edad (años) | 11,8 ± 1,8 | 12,1 ± 1,8 | < 0,0001 |
| Peso (kg) | 43,4 ± 9,7 | 43,6 ± 9,1 | < 0,01 |
| Talla (cm) | 152,1 ± 11,5 | 153,2 ± 11,1 | < 0,0001 |
| Talla para la edad (puntaje z) | 0,43 ± 0,75 | 0,28 ± 1,04 | < 0,01 |
| IMC para la edad (puntaje z) | 0,24 ± 1,00 | 0,16 ± 0,96 | < 0,01 |
| Índice AKS (kg/m ³) | 1,012 ± 0,10 | 1,017 ± 0,10 | NS |
| Porcentaje de grasa (%) | 16,9 ± 7,1 | 17,1 ± 6,4 | NS |
| Masa muscular (kg) | 13,7 ± 3,4 | 13,9 ± 3,6 | NS |
| Glucosa (mg/dl) | 82,2 ± 6,8 | 85,7 ± 7,4 | < 0,01 |
| C-HDL (mg/dl) | 42,6 ± 6,7 | 49,8 ± 11,9 | < 0,0001 |
| C-LDL (mg/dl) | 88,4 ± 30,1 | 104,4 ± 26,2 | < 0,0001 |
| Triglicéridos (mg/dl) | 63,1 ± 30,7 | 90,1 ± 55,2 | < 0,01 |
| Colesterol total (mg/dl) | 163,9 ± 31,6 | 172,3 ± 28,4 | < 0,01 |
| Urea (mg/dl) | 33,7 ± 9,3 | 32,8 ± 7,5 | NS |
| Creatinina (mg/dl) | 0,7 ± 0,1 | 0,6 ± 0,1 | < 0,01 |
| Cociente respiratorio | 0,8 ± 0,1 | 0,9 ± 0,1 | < 0,05 |
| VO ₂ (ml/kg/min) | 5,3 ± 2,2 | 5,1 ± 1,3 | NS |
| Frecuencia cardiaca (lpm) | 80,7 ± 16,6 | 74,9 ± 10,5 | < 0,01 |

AKS: substancia corporal activa; IMC: índice de masa corporal; HDL: Lipoproteínas de alta densidad; lpm: latidos por minuto; LDL: Lipoproteínas de baja densidad. Se muestra la media y desviación estándar.

Por otra parte, se encontró que el 52,3% (n=22) de los participantes redujeron su índice AKS, mientras que el 33% (n=14) lo aumentó, descartándose el 4,7% (n=6) que no presentaron modificaciones en dicho índice. En la Tabla 2 se observan las diferencias entre el grupo que disminuyó su índice AKS (Grupo A) y el que lo aumentó (Grupo B) después de 15 semanas de entrenamiento. En la Tabla 2 se observa que en el grupo A disminuyó el peso (-0,1%), la CCi (-1,5%), la CCa (-2,4%) y el índice cintura/estatura (-2,3%). Al contrario, en el grupo B aumentó el peso (1,9%), la estatura (0,8%), la CCi (1,9%) y la CCa (2,1%). El grupo A también redujo la MLG (-0,2%), el tejido suave (-0,2%), la masa muscular (-3,3%), la masa ósea (-0,2%), el agua corporal total (-0,2%) y el agua extracelular (-1,6%). Al contrario, en el grupo B se observó un aumento en la MLG (4,6%), el tejido suave (4,6%), la masa muscular (8,8%), la masa ósea (3,6%), el agua corporal total (5,2%), el agua intracelular (4,6%) y el agua extracelular (4,8%).

Tabla 2. Comparación de las variables antropométricas, de composición corporal y bioquímicas final menos inicial (Δ) de los grupos con disminución (A) y aumento (B) del Índice AKS (kg/m^3) después de 15 semanas de ejercicio intenso.

| Variables | Grupo A Disminución AKS (n=22) | Grupo B Aumento AKS (n=14) | P |
|---------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------|
| <i>Antropometría</i> | | | |
| Peso (kg) | -0,1 \pm 1,2 | 1,9 \pm 1,2 | < 0,0001 |
| Circunferencia de cintura (cm) | -1,0 \pm 2,0 | 1,9 \pm 2,0 | 0,0001 |
| Circunferencia de cadera (cm) | -2,1 \pm 4,1 | 1,6 \pm 1,7 | 0,0001 |
| Índice cintura/estatura | -0,01 \pm 0,01 | 0,01 \pm 0,01 | < 0,0001 |
| Índice AKS (kg/m^3) | -0,03 \pm 0,01 | 0,03 \pm 0,03 | < 0,0001 |
| IMC para la edad (puntaje z) | -0,2 \pm 0,2 | 0,1 \pm 0,2 | < 0,0001 |
| <i>Composición Corporal</i> | | | |
| Masa libre de grasa (kg) | -0,1 \pm 0,4 | 1,6 \pm 0,9 | < 0,0001 |
| Porcentaje de grasa (%) | 0,8 \pm 3,3 | 0,0 \pm 1,5 | NS |
| Masa grasa (kg) | 0,0 \pm 0,9 | 0,3 \pm 0,7 | NS |
| Tejido suave (kg) | -0,1 \pm 0,3 | 1,5 \pm 0,8 | < 0,0001 |
| Masa muscular (kg) | -0,5 \pm 0,6 | 1,2 \pm 0,9 | < 0,0001 |
| Masa ósea (kg) | 0 \pm 0,1 | 0,1 \pm 0,1 | < 0,01 |
| Agua corporal total (kg) | -0,1 \pm 0,3 | 1,3 \pm 0,8 | < 0,0001 |
| Agua intracelular (kg) | 0,1 \pm 0,3 | 0,7 \pm 0,4 | < 0,0001 |
| Agua extracelular (kg) | -0,2 \pm 0,2 | 0,5 \pm 0,4 | < 0,0001 |
| <i>Bioquímica sanguínea</i> | | | |
| Urea sérica (mg/dl) | 2,6 \pm 9,9 | -4,4 \pm 8,9 | < 0,05 |
| Linfocitos (k/ μ l) | -1,89 \pm 4,48 | 2,38 \pm 5,17 | < 0,01 |
| Hemoglobina (mg/dl) | 0,1 \pm 1,0 | -0,4 \pm 0,9 | < 0,05 |

AKS: sustancia corporal activa; IMC: índice de masa corporal; NS: No significativo. Se muestra el promedio y la desviación estándar.

Dentro de las variables bioquímicas el grupo A aumentó la urea sérica (13,4%) y disminuyó la cantidad de linfocitos (-5,8%). En el grupo B se redujo la urea sérica (-8,1%), aumentaron los linfocitos (12,1%) y disminuyó la hemoglobina (-2,6%). Dentro de las variables metabólicas en reposo el VO_2 aumentó en los dos grupos A y B (4,5% y 8,9% respectivamente) (Tabla 3); por otro lado, en el grupo B aumentó el GE en reposo (GER) (9,1%). En las variables metabólicas en movimiento el grupo B disminuyó el VO_2 en la etapa inicial (-34,9%), los METS en la etapa inicial (-35,5%) y la recuperación rápida a un minuto (-14,6%) (Tabla 4).

Tabla 3. Comparación de las variables metabólicas en reposo final menos inicial (Δ) de los grupos con disminución y aumento de índice AKS (kg/m^3) después de 15 semanas de ejercicio intenso.

| Variable | Grupo A Disminución AKS (n=17) | Grupo B Aumento AKS (n=8) | <i>p</i> |
|--|--------------------------------------|---------------------------------|----------|
| Frecuencia cardíaca (lpm) | -9,5 ± 15,7 | -1,6 ± 10,5 | NS |
| VO ₂ (ml/min) | -0,05 ± 21,3 | 17,1 ± 30,9 | < 0,05 |
| VO ₂ (ml/kg/min) | 0,0 ± 0,5 | 0,2 ± 0,6 | NS |
| VCO ₂ (ml/min) | 4,5 ± 15,2 | 11,8 ± 27,3 | NS |
| VCO ₂ (ml/kg/min) | 0,1 ± 0,7 | 0,2 ± 1,0 | NS |
| GER (kcal) | -6,8 ± 150,6 | 120,8 ± 210,6 | < 0,05 |
| GER/MLG (kcal/kg) | -0,2 ± 4,7 | 1,5 ± 4,7 | NS |
| GER/Masa muscular (kcal/kg) | 2,8 ± 16,3 | 0,6 ± 11,9 | NS |
| Coefficiente respiratorio (CO ₂ /O ₂) | 0,03 ± 0,1 | 0,01 ± 0,1 | NS |
| Carbohidratos (%) | 10,5 ± 33,2 | 1,2 ± 31,1 | NS |
| Grasas (%) | -10,5 ± 33,1 | -1,2 ± 31,1 | NS |

AKS: substancia corporal activa; GER: gasto energético en reposo; lpm: latidos por minuto; LDL
VO₂: volumen de oxígeno; VCO₂: volumen de dióxido de carbono; MLG: masa libre de grasa; NS:
No significativo. Se muestra el promedio y la desviación estándar.

Tabla 4. Comparación de las variables metabólicas en movimiento final menos inicial (Δ) de los grupos con disminución y aumento de Índice AKS después de 15 semanas de ejercicio intenso.

| Variable | Grupo A Disminución AKS (n=5) | Grupo B Aumento AKS (n=4) | p |
|--|-------------------------------------|------------------------------|--------|
| Volumen de O ₂ inicial (ml/min) | 0,2 ± 2,2 | -6,0 ± 5,4 | < 0,05 |
| Volumen de O ₂ AeT (ml/min) | 11,4 ± 10,0 | 2,9 ± 10,7 | NS |
| Volumen de O ₂ AT (ml/min) | 12,6 ± 7,9 | 2,7 ± 16,6 | NS |
| Volumen de O ₂ pico (ml/min) | 4,1 ± 9,4 | -2,5 ± 2,8 | NS |
| Frecuencia cardiaca inicial (lpm) | -16,8 ± 38,9 | -13,5 ± 3,8 | NS |
| Frecuencia cardiaca AeT (lpm) | 13,4 ± 26,0 | -1,0 ± 22,5 | NS |
| Frecuencia cardiaca AT (lpm) | 9,0 ± 15,9 | 3,3 ± 33,0 | NS |
| Frecuencia cardiaca pico (lpm) | -4,2 ± 6,4 | -9,0 ± 1,8 | NS |
| METS inicial | 0,0 ± 0,6 | -1,7 ± 1,5 | < 0,05 |
| METS AeT | 3,3 ± 2,8 | 0,8 ± 3,1 | NS |
| METS AT | 3,6 ± 2,2 | 0,8 ± 4,7 | NS |
| METS pico | 1,2 ± 2,7 | -0,8 ± 0,8 | NS |
| Recuperación pico (lpm) | -4,2 ± 6,4 | -9,0 ± 1,8 | NS |
| Recuperación 1 min (lpm) | -0,2 ± 10,9 | -20,8 ± 13,6 | < 0,05 |
| Recuperación 2 min (lpm) | -7,2 ± 6,6 | -28,8 ± 21,3 | NS |
| Umbral Aeróbico (min) | 2,6 ± 2,6 | 1,2 ± 4,2 | NS |
| Umbral Anaeróbico (min) | 2,5 ± 3,9 | 0,9 ± 0,6 | NS |

AKS: substancia corporal activa; lpm: latidos por minuto; METS: equivalente metabólico; AeT: umbral anaerobio; AT: umbral aerobio. NS: No significativo. Se muestra el promedio y la desviación estándar.

DISCUSIÓN

La actividad física-deportiva brinda beneficios psicológicos y fisiológicos para los sujetos que la practican habitualmente (Merkel, 2013). El estudio HF-Action (O'Connor *et al.*, 2009) reportó que sujetos que realizaron actividad física redujeron en un 11% y 15% del riesgo de hospitalización por causas cardíacas y de muerte por enfermedad cardiovascular, respectivamente. Los datos del presente estudio muestran que los nadadores presentaron adaptaciones fisiológicas cardiovasculares que representa una mejora en la aptitud física como la disminución de la frecuencia cardiaca en reposo; y un aumento en la hemoglobina, hematocrito y volumen medio corpuscular (Boraita *et al.*, 2000; Santhiago *et al.*, 2009). Sin embargo, la reducción en la talla para la edad sugiere que la ganancia de la estatura se comprometió a fin de cumplir con la demanda energética de la actividad física (Maïmoun *et al.*, 2014).

El aumento de la MLG y en especial la masa muscular son importantes para el deportista ya que se relacionan con mayores capacidades físicas y prevención de lesiones osteomusculares (Pancorbo, 2003). En el grupo A, el peso corporal perdido fue a expensas de MLG y no de tejido adiposo. Para poder prevenir esta pérdida se

recomienda un consumo de entre 1 a 2.3 g de proteína/kg de peso corporal para el mantenimiento de la MLG en atletas jóvenes durante el entrenamiento (Mettler *et al.*, 2010). Una de las principales limitaciones de este estudio es la falta de evaluación del consumo de la dieta. De Mello *et al.* (2015), en adolescentes nadadores, señalaron previamente que este grupo de edad debe tener una vigilancia nutricional muy estrecha, debido a que suelen presentar un consumo excesivo de suplementos alimentarios, consumo de energía y proteínas elevados y una ingesta baja de carbohidratos y micronutrientes. Además, la pérdida de la MLG de los nadadores podría explicarse por una alimentación inadecuada para sus necesidades energéticas y nutrimentales sin embargo no hubo datos de desnutrición, pero sí de sobrepeso. Asimismo, es importante considerar el crecimiento y desarrollo del deportista que realiza actividad intensa a fin de cuidar la dieta, los tiempos de reposo y entrenamiento que le afecten en su desarrollo físico y evitar cambios psicológicos como la frustración ante los fracasos deportivos (Merkel, 2013).

En el grupo A, la urea sérica aumentó probablemente en relación con el aumento en la intensidad del ejercicio y un mayor catabolismo proteico, sugiriendo un balance nitrogenado negativo (Pancorbo, 2003). Por otra parte, en el grupo B disminuyó la urea sérica sugiriendo un anabolismo proteico, reflejado en un aumento de la masa muscular (Pancorbo, 2003). La disminución en la cantidad de linfocitos sugiere cambios en el sistema inmunológico de los sujetos que puede ser por diferentes causas, entre ellas el estrés (Gleeson *et al.*, 1995).

En las calorimetrías en reposo, el VO_2 aumentó en el grupo B debido posiblemente a que la natación es un ejercicio en mayor proporción aeróbico que demanda mayor transporte de oxígeno. Este tipo de entrenamiento aumenta el consumo máximo de oxígeno y por lo tanto aumenta la condición física (Nikolic y Ilic, 1992). En el grupo B aumento el requerimiento de energía aproximadamente 120 kcal, mientras que en el grupo A disminuyó el GER, esto probablemente debido a la disminución en la MLG (Marchini *et al.*, 2005; Vargas *et al.*, 2011).

En las calorimetrías en movimiento se observó que el grupo B tuvo una mejor adaptación al ejercicio con un GE menor al iniciar la prueba medido por METS, además de lograr una mejor recuperación con 20 latidos por minuto menos a un minuto de recuperación, como reflejo de una condición física adecuada (Knechtle, 2014; Winsley y Matos, 2011). En el grupo A no se observaron modificaciones. Estos datos sugieren que se debe utilizar esta información para la planificación del entrenamiento, tanto las frecuencias, como los volúmenes y los umbrales (Ramos-Álvarez *et al.*, 2016).

Por último, otra limitación del trabajo a considerar, fue la falta de análisis de variables de orden psicológico como son el estrés y la ansiedad. Estos factores psicológicos pueden impactar en diferentes niveles los efectos de la actividad física y el entrenamiento deportivo al afectar la alimentación, el sueño, la motivación para entrenar, entre otras causas (Stults-Kolehmainen y Sinha, 2015; Pancorbo, 2003).

Algunas probables fuentes de estrés psicológico que puede afectar la actividad física y el entrenamiento, pero que no fueron analizadas en el presente trabajo, son las exigencias de los padres de familia y los entrenadores, así como los propios compromisos sociales de los deportistas como es el rendimiento escolar o académico. En este sentido, es conveniente enfatizar la recomendación a padres de familia y entrenadores la vigilancia estrecha de los deportistas jóvenes a través del cuidado de la alimentación, el sueño y la aparición de conductas diferentes a las habituales para prevenir el estrés.

CONCLUSIONES

El ejercicio intenso acompañado de una disminución en el MLG tiene efectos adversos que pueden repercutir en el rendimiento deportivo y en la salud. La vigilancia multidisciplinaria de un equipo de salud para el deportista es indispensable para garantizar que los deportistas no presenten los riesgos de una actividad deportiva no supervisada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barquera, S., Rivera, J., Campos, I., Hernández, L., Santos-Burgoa, C., Durán, E. *et al.* (2010). *Acuerdo Nacional para la Salud Alimentaria: Estrategia contra el sobrepeso y la obesidad*. México DF, Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud de la Secretaría de Salud.
- Boraita, A., Baño, A., Berrazueta, J., Lamiel, R., Luengo, F., Manonelles, P., y Pons I de Beristain C. (2000). Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología sobre la actividad física en el cardiópata. *Revista Española de Cardiología*, 53(5), 684-726. [https://doi.org/10.1016/S0300-8932\(00\)75145-1](https://doi.org/10.1016/S0300-8932(00)75145-1)
- Brandão, M.R.F., Leite, G.D.S., Gomes, S.S., Figueira, J.A., Oliveira, R.S.D., y Borin, J.P. (2015). Alteraciones emocionales y la relación con las cargas de entrenamiento en nadadores de alto rendimiento. *Revista Brasileira de Ciências do Esporte*, 37(4), 376-382. <https://doi.org/10.1016/j.rbce.2015.08.009>
- De Mello, A.V., Villarim, W.L.F., Machado, A.D., Olivon, E.V., da Cruz, D.L., Nogueira, L.R., *et al.* (2015). Avaliação da composição corporal e do consumo alimentar de nadadores adolescentes. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 21(5), 381-385. <https://doi.org/10.1590/1517-869220152105117781>
- Gleeson, M., McDonald, W.A., Crippst, A.W., Pyne, D.B., y Clancy, R.L. (1995). The effect on immunity of long-term intensive training in elite swimmers. *Clinical Experimental Immunology*, 102(1), 210-216. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2249.1995.tb06658.x>
- Griffin, A., Unnithan, V., y Ridges, P. (1999). The physiological effects of intense swimming competition on 16-17 years old elite female swimmers. *Pediatric Exercise Science*, 11(1), 22-31. <https://doi.org/10.1123/pes.11.1.22>
- Hart, K.J., Shaw, J.M., Vajda, E., Hegsted, M., y Miller, S.C. (1985). Swim-trained rats have greater bone mass, density, strength, and dynamics. *Journal Applied Physiology*, 91(4), 1663-8. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.4.1663>
- Henríquez-Pérez, G., Rached-Paoli, I., y Azuaje-Sanchez, A. (2009). Índice de sustancia activa (AKS) distribución percentilar en edades pediátricas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 59(4), 383-9.

- Hernández-Ávila, M., Rivera-Dommarco, J., Shamah-Levy, T., Cuevas-Nasu, L., Gómez-Acosta, L.M., Gaona-Pineda, E.B., *et al.* (2016). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. Resultados Nacionales del 2016. Cuernavaca* (México), Instituto Nacional de Salud Pública.
- Johnson, M.B., y Thiese, S.M. (1992). A review of overtraining syndrome-recognizing the signs and symptoms. *Journal of Athletic Training*, 27(4), 352-4.
- Knechtle, B. (2014). Relationship of anthropometric and training characteristics with race performance in endurance and ultra-endurance athletes. *Asian Journal Sports Medicine*, 5(2), 73-90.
- Koozehchian, M., Nazem, F., Kreider, R., Roberts, W., Best, T., Rong, Y., *et al.* (2014). The role of exercise training on lipoprotein profiles in adolescent males. *Lipids in Health and Disease*, 13,95. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-13-95>
- Kreher, J.B., y Schwartz, J.B. (2012). Overtraining Syndrome: A Practical Guide. *Sports Health*, 4(2), 128-38. <https://doi.org/10.1177/1941738111434406>
- Maïmoun, L., Georgopoulos, N.A., y Sultan, C. (2014). Endocrine disorders in adolescent and young female athletes: impact on growth, menstrual cycles, and bone mass acquisition. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 99(11), 4037-50. <https://doi.org/10.1210/jc.2013-3030>
- Marchini, J.S., Fett, C.A., Fett, W.C., y Suen, V.M. (2005). Calorimetría: las consideraciones prácticas de la aplicación y críticos. *Fitness and Performance Journal*, 4(2), 90-6. <https://doi.org/10.3900/fpj.4.2.90.s>
- Marshall, M.R., Coe, D.P., y Pivarnik, J.M. (2014). Development of a prediction model to predict VO₂ (peak) in adolescent girls using the Bruce protocol to exhaustion. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 85(2), 251-6. <https://doi.org/10.1080/02701367.2014.893053>
- Meeusen, R., Duclos, M., Gleeson, M., Rietjens, G., Steinaker, J., y Urhausen, A. (2006). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome: ECSS Position Statement Task Force. *European Journal Sport Science*, 6(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/17461390600617717>
- Mettler, S., Mitchell, N., Tipton, K.D. (2010). Increased protein intake reduces lean body mass loss during weight loss in athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(2), 326-337. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181b2ef8e>
- Merkel, D.L. (2013). Youth sport: positive and negative impact on young athletes. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 4, 151-160. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S33556>
- Nalcakan, G.R. (2014). The effects of sprint interval vs. Continuous endurance training on physiological and metabolic adaptations in young healthy adults. *Journal of Human Kinetics*, 30(44), 97-109. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0115>
- Nikolic, Z., e Ilic, N. (1992). Maximal oxygen uptake in trained and untrained 15-year-old boys. *British Journal of Sports Medicine*, 26(1), 36-38. <https://doi.org/10.1136/bjism.26.1.36>
- O'Connor, C.M., Whellan, D.J., Lee, K.L., Keteyian, S.J., Cooper, L.S., Ellis, S.J., *et al.* (2009). Efficacy and safety of exercise training in patients with chronic heart failure: HF-ACTION randomized controlled trial. *JAMA*, 301(14), 1439-50. <https://doi.org/10.1001/jama.2009.454>
- Organización Mundial de la Salud. (2008). *Patrones de crecimiento del niño de la OMS: curso de capacitación sobre la evaluación del crecimiento del niño*. Ginebra, OMS.
- Pancorbo, A. (2003). Diagnóstico y prevención de la fatiga crónica o del síndrome de sobreentrenamiento en el deporte de alto rendimiento. Una propuesta de mecanismos de recuperación biológica. *Cuadernos de Psicología del Deporte*, 3(1), 61-80.

- Ramos-Álvarez, J.J., Del Castillo-Campos, M.J., Polo-Portes, C., Ramón-Rey, M., y Bosch-Martín, A. (2016). Análisis de parámetros fisiológicos en jugadores juveniles españoles de bádminton. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 16(61), 45-54. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2016.61.004>
- Santhiago, V., da Silva, A.S., Papoti, M., & Gobatto, C.A. (2009). Responses of hematological parameters and aerobic performance of elite men and women swimmers during a 14-week training program. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4): 1097-105. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318194e088>
- Schipilow, J.D., Macdonald, H.M., Liphardt, A.M., Kan, M., y Boyd, S.K. (2013). Bone micro-architecture, estimated bone strength, and the muscle-bone interaction in elite athletes: an HR-pQCT study. *Bone*, 56(2), 281-9. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2013.06.014>
- Serrato-Roa, M. (2008). *Medicina del deporte*. Bogotá: Editorial del Rosario.
- Stasinaki, A.N., Gloumis, G., Spengos, K., Blazevich, A.J., Zaras, N., Georgiadis, G., et al. (2015). Muscle strength, power and morphologic adaptations after 6 weeks of compound vs. complex training in healthy men. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(9), 2559-69. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000917>
- Stults-Kolehmainen M. A. y Sinha R. (2015). The effects of stress on physical activity and exercise. *Sports Medicine*, 44(1), 81–121. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0090-5>
- Tittel, K., y Wutscherk, H. (1972). *Sportanthropometrie*. Leipzig, Johann Ambrosius Barth.
- Vargas, M., Lancheros, L., y Barrera, M.P. (2011). Energy expenditure in repose related to body composition adults. *Revista de la Facultad de Medicina*, 59(1), 43-58.
- Veal, D. (1991). Psychological aspects of staleness and dependence on exercise. *International Sports Medicine*, 12(1991), S19-S22. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1024745>
- Vera-Estrada, F., Sánchez-Rivas, E., y Sánchez-Rodríguez, J. (2018). Promoción de la actividad física saludable en el recreo escolar/Promotion of Healthy Physical Activity in School Recreation. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 18(72), 665-668. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2018.72.004>
- World Health Organization. (1995). *WHO technical report series, 854. WHO Expert Committee on Physical Status: the use and interpretation of anthropometry physical status*. Geneva, WHO.
- Winsley, R., y Matos, N. (2011). Overtraining and elite young athletes. *Medicine and Sport Science*, 56, 97-105. <https://doi.org/10.1159/000320636>

Número de citas totales / Total references: 36 (100%)

Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 02 (5.5%)