

MODIFICACIÓN EN LOS INDICADORES PLASMÁTICOS DEL METABOLISMO DE LÍPIDOS Y GLUCOSA, EN RESPUESTA A DOS TIPOS DE EJERCICIO AERÓBICO EN POBLACIÓN FÍSICAMENTE ACTIVA*

Rosa Patricia Hernández-Torres¹, Arnulfo Ramos-Jiménez², Eduardo Gómez-Gómez¹, Ma de Jesús Muñoz-Daw¹, Patricia Victoria Torres-Durán³, Dieter Mascher⁴, Carlos Posadas-Romero⁵ y Marco Antonio Juárez-Oropeza³

RESUMEN

El ejercicio físico ha demostrado ser un factor preventivo para el desarrollo de las enfermedades crónico-degenerativas. El ejercicio aeróbico continuo disminuye la resistencia a la insulina y el perfil aterogénico de lípidos, sin embargo, el ejercicio aeróbico intermitente ha sido menos estudiado en sus efectos sobre el metabolismo de lípidos. La respuesta del metabolismo a ambos tipos de ejercicio depende de la intensidad del mismo, del gasto calórico de los sujetos, de la dieta, del acondicionamiento físico y del estado de salud del sujeto, entre otros. En el presente trabajo se muestran los efectos de dos tipos de ejercicios, continuo e intermitente, sobre las modificaciones agudas de la glucosa, los triacilglicerolos (TAG) y el colesterol de las HDL (C-HDL) en varones jóvenes, sanos, activos, con y sin entrenamiento físico sistemático. Los resultados muestran que en los sujetos entrenados y por el ejercicio continuo la concentración del C-HDL aumentó 7.3%, mientras que en el ejercicio intermitente aumentaron las concentraciones de glucosa 6 %, TAG 10.4% y C-HDL 12.8%. En contraste, en los sujetos sin entrenamiento y por el ejercicio continuo la glucosa disminuyó 13%, pero los TAG y C-HDL aumentaron 10.4% y 12.8%, respectivamente. El ejercicio continuo provocó respuestas diferentes entre ambos tipos de sujetos. La glucosa en el ejercicio continuo está influida por el acondicionamiento físico, mientras que en el ejercicio intermitente, las modificaciones en glucosa y TAG, parecen depender más de la intensidad del ejercicio. Los cambios en el C-HDL, en ambos grupos de sujetos y tipos de ejercicio, se considera que son el resultado de la combinación del entrenamiento, gasto calórico e intensidad.

PALABRAS CLAVE: Acondicionamiento físico, factores de riesgo, síndrome metabólico, tasa de intercambio respiratorio.

ABSTRACT

The physical exercise has demonstrated to be a preventive factor for the development of chronic- degenerative diseases. The continuous aerobic physical exercise decreases the insulin resistance and the atherogenic lipid profile; however, the intermittent aerobic exercise has been less studied in relation to its effects on lipid metabolism. The metabolic response to both kinds of exercise depends on the intensity, energy expenditure, diet, fitness and health status of the subject, among others. The present work shows the effects of two types of exercise, continuous and intermittent, on the acute changes of glucose, triacylglycerols (TAG), and the HDL-cholesterol (HDL-C), in young, healthy, active males, with and without systematical training. The results show that in trained subjects with continuous exercise the HDL-C was increased 7.3%, whereas on the intermittent exercise was observed increases on glucose 6%, TAG 10.4% and HDL-C 12.8%. In contrast, in subjects without training the continuous exercise decreases the glucose values 13%, but TAG and HDL-C values increased 10.4 and 12.8%, respectively. The continuous exercise caused different responses in both subject groups. The results suggest that glucose levels in the continuous exercise are influenced by the physical fitness, whereas in the intermittent exercise the changes on glucose and TAG seem to depend on the exercise intensity. To explain the changes of HDL-C, in both kinds of exercise and in both populations, it was suggested that they are the result of the combination of training, energy expenditure and intensity of the exercise.

KEY WORDS: Physical fitness, risk factors, metabolic syndrome, respiratory exchange ratio.

*Recibido: 12 de febrero de 2007 Aceptado: 14 de agosto de 2007

¹ Facultad de Educación Física y Ciencias del Deporte, UACH, Chihuahua, Chih., ² Departamento de Ciencias Básicas, Instituto de Ciencias Biomédicas, UACJ, Cd. Juárez Chih. ³ Departamento de Bioquímica, Facultad de Medicina, UNAM, México D. F. ⁴ Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, UNAM, México D. F. ⁵ Departamento de Endocrinología, Instituto Nacional de Cardiología, Ignacio Chávez, México D. F. Correspondencia: MA Juárez-Oropeza. Departamento de Bioquímica, Facultad de Medicina, UNAM. Apartado Postal 70-159, México D. F. 04510. Tel: 5623-2169, Fax: 5616-2419. Correo E: majo_ya@yahoo.com.mx

INTRODUCCIÓN

El estilo de vida sedentaria, llamado así a como viven las personas que no realizan ejercicio físico al menos 3 veces por semana y que su tiempo libre lo ocupan viendo televisión o sentadas en otras actividades, ha estado implicado en la incidencia de diversas enfermedades crónico-degenerativas y en el incremento de la población con al menos 2 de las características que diagnostican al síndrome metabólico (sobrepeso, dislipidemia, intolerancia a la glucosa). Por el contrario, el estilo de vida físicamente activo ha mostrado reducir la aparición temprana de dichos padecimientos (1). Dado lo anterior, el sedentarismo está considerado dentro de los riesgos de morbilidad y mortalidad debido al síndrome metabólico y se recomienda se aumente el gasto calórico diario, no solo con un estilo de vida más activo sino haciendo ejercicio de modo sistemático; el tipo de ejercicio que ha demostrado mejorar la salud cardiovascular y el metabolismo, estimular las vías oxidativas aeróbicas para obtener la energía y por lo cual se ha denominado, ejercicio aeróbico (1). Asimismo, de las diversas formas de realizar este ejercicio aeróbico, el denominado continuo, realizado a intensidad constante y sin interrupción, ha sido el más utilizado y estudiado. En cambio, el denominado intermitente, denominado así por cambiar de velocidad o suspenderse por un tiempo preestablecido y luego continuarse, ha sido más aplicado al mejoramiento del rendimiento deportivo, pero comienza a ser utilizado en programas de acondicionamiento físico, enfocados a mejorar la salud en general y no únicamente la cardiovascular (2).

La dislipidemia aterogénica, caracterizada por altas concentraciones sanguíneas de triacilglicérols (TAG), apolipoproteína B, lipoproteínas de baja densidad pequeñas y densas, y valores bajos del colesterol de lipopro-

TABLA 1		
Características físicas de los sujetos		
	SES (n=8)	CES (n=15)
Edad (años)	28.1 ± 5.4	22.8 ± 5*
Estatura (cm)	177.5 ± 8.8	170.5 ± 7.0
Peso (kg)	76.4 ± 6.9	59.6 ± 4.9*
IMC (kg/m ²)	24.3 ± 2.1	20.5 ± 1.5*
% grasa	19.3 ± 4.4	9.6 ± 3.2*
VO ₂ max (mL/kg/min)	59.5 ± 12.6	77.6 ± 3.4*
UL (VO ₂ mL/kg/min)	27.3 ± 5.9	63.8 ± 7.2*

Sujetos de género masculino. Los valores se presentan en promedios ± ds. SES = sin entrenamiento sistemático, CES = con entrenamiento sistemático, IMC= índice de masa corporal, VO₂ max = consumo máximo de oxígeno, UL=umbral de lactato. *p <0.05 (t-de Student) para muestras independientes.

teínas de alta densidad (C-HDL) y la hiperglucemia en ayuno, son dos factores de riesgo metabólico altamente predisponentes para el desarrollo de la aterosclerosis y la diabetes (3). En este sentido, ambos factores de riesgo correlacionan positivamente con el sedentarismo. Como se sabe los efectos crónicos del ejercicio son la suma de los efectos agudos, es decir de las respuestas al final y hasta las 48 h después del ejercicio. La prescripción del ejercicio debe apoyarse entonces de sus respuestas agudas. Los efectos crónicos del ejercicio aeróbico sobre dichos parámetros, se encuentran más documentados que los efectos agudos, además de que estos efectos se observan con mayor claridad cuando el ejercicio lo desarrollan personas sedentarias, no así en personas activas y deportistas (4). Por lo anterior, en este documento se describe el efecto de dos tipos de ejercicio aeróbico, uno continuo y el otro intermitente, sobre las concentraciones de glucosa, TAG y C-HDL, en ayuno y al final del ejercicio, en dos tipos de poblaciones, una de ellas realizaba el ejercicio físico sin un entrenamiento sistemático (SES) y

la otra con un entrenamiento sistemático (CES) (Tabla 1). El propósito del trabajo es aportar más conocimientos al área de la bioquímica del ejercicio y contribuir a que la prescripción del ejercicio en sus diferentes modalidades, sea con mayor fundamento.

CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN

La población estudiada correspondió a dos grupos de adultos jóvenes, sanos y activos físicamente. En el grupo de sujetos SES, el ejercicio físico era recreativo, de 1 a 2 veces por semana, no más de 1 h/sesión, y no se ajustaba a un entrenamiento sistemático, esto es, previamente programado y dosificado. Los sujetos CES, eran corredores de fondo (especialidad de 5 a 20 km) con al menos un año entrenando de manera sistemática (6 veces por semana, un tiempo de 1.5 a 2 h/día). Antes de incorporarse al estudio, se les pidió a los participantes leer y firmar la carta de consentimiento informado, se les informó la necesidad de acudir a las sesiones de ejercicio posterior a 10 h de ayuno y abstenerse de ingerir bebidas alcohólicas por 72 h y

de café por 24 h previas. Durante las sesiones de ejercicio los sujetos podían ingerir agua *ad libitum*.

DISEÑO EXPERIMENTAL

En una primera cita al laboratorio, se analizó la alimentación en los sujetos por el registro de 3 días consecutivos de su dieta (dos entre semana y uno en fin de semana) y se les estimó el porcentaje de grasa corporal por mediciones antropométricas (Tabla 1) empleando el procedimiento estandarizado por la "International Society for the Advancement of Kinanthropometry" (ISAK) (5). Estas mediciones, además de la talla y el peso, son ocho grososres de pliegues cutáneos, 11 circunferencias corporales y 2 anchuras de huesos, con las cuales por medio de fórmulas previamente validadas y avaladas por el ISAK, se estima la grasa corporal (5). En una segunda cita se les midió la capacidad cardiopulmonar de consumo máximo de oxígeno ($\text{VO}_2 \text{ max}$) por medio de un analizador de gases (Vmax n29; Sensormedics, California, EUA) (Tabla 1) y aplicando una prueba de ejercicio máximo donde la intensidad es incrementada paulatinamente de tal manera que el sujeto alcanza su nivel máximo, en un tiempo entre 8 y 12 min. Durante esta prueba se realizó también la detección del umbral de lactato (UL) que es la intensidad de trabajo físico a la cual el sujeto emplea preferente el metabolismo oxidativo aeróbico para obtener energía (6). En tres o dos citas subsiguientes y separadas por 72 h, los sujetos realizaron en orden aleatorio los ejercicios aeróbicos. Los sujetos SES realizaron una sesión de carrera continua (ejercicio continuo) en banda sinfín durante 35 min y dos sesiones con equipo de pesas (ejercicio intermitente). En cambio los sujetos CES realizaron dos carreras de 90 min en banda sinfín, uno continuo y otro intermitente. Durante los ejercicios de carrera se mi-

dieron continuamente el consumo de oxígeno (VO_2) y la producción de CO_2 (VCO_2) con el analizador de gases, la frecuencia cardiaca (FC) con un pulsímetro telemétrico (Polar, Finlandia) y las concentraciones de lactato en sangre con un analizador de lactato (Sport Lactate Analyzer, YSI). Durante los ejercicios con pesas se registró solamente la FC y el lactato en sangre y no la medición de VO_2 , ya que el analizador de gases disponible no era portátil. Para el análisis de los indicadores bioquímicos arriba mencionados se tomaron muestras de sangre de la vena antecubital antes de iniciar cada uno de los ejercicios y 10 min después de haberlo finalizado. En ambas tomas los sujetos reposaron por 10 min, con el propósito de tener un flujo sanguíneo lo más estable posible. Los análisis se realizaron por procedimientos técnicos estandarizados (Biosystem) y con equipo automatizado (Biosystem BTS 370Plus), siguiendo las recomendaciones de los fabricantes.

INDICADORES DE ACONDICIONAMIENTO AERÓBICO Y SALUD CARDIOPULMONAR

El acondicionamiento físico relacionado con la salud se define como la capacidad de realizar actividad física diaria con vigor y demostrar un estado físico que pueda prevenir el riesgo a padecer enfermedades y mantener la salud. El acondicionamiento físico se evalúa a través de conocer la composición corporal, la flexibilidad, fuerza, la resistencia muscular y la capacidad cardiopulmonar (7). El $\text{VO}_2 \text{ max}$ es el mejor indicador de dicha capacidad cardiopulmonar y nos informa la capacidad oxidativa en el sujeto, la cual depende de varios factores, entre los principales: la capacidad de transportar O_2 desde los pulmones hasta la célula y de la propia capacidad oxidativa de la célula. El $\text{VO}_2 \text{ max}$ se incrementa con un entrenamiento

aeróbico hasta un límite máximo determinado genéticamente (6). La medición del $\text{VO}_2 \text{ max}$ se realiza recolectando los gases de la ventilación pulmonar, durante una prueba de ejercicio máximo. Durante esta prueba se registran además del $\text{VO}_2 \text{ max}$, el VCO_2 y otros indicadores fisiológicos y metabólicos, como la FC y el lactato en sangre. Para que el sujeto alcance su máxima capacidad aeróbica se aumenta paulatinamente la intensidad del esfuerzo, la velocidad en banda sinfín o la carga de trabajo en bicicleta (cada 1 a 3 min) hasta una magnitud tal que permita se alcance su valor máximo en un tiempo entre 8 a 12 min (5). Un tiempo menor a 8 min sugiere que el sujeto se pudo agotar prematuramente por imponer cargas de trabajo muy altas en corto tiempo, pero realizar la prueba en tiempos superiores a los 12 min implica un posible fastidio del sujeto que puede influir en la terminación de la prueba sin la certeza de que se alcanzó el máximo esfuerzo.

Una de las formas de evaluar la intensidad del ejercicio y conocer si se está trabajando de manera aeróbica o anaeróbica, es determinar durante una prueba de ejercicio máximo, el umbral anaeróbico (UA), ya sea midiendo las concentraciones de los gases de la respiración (umbral ventilatorio = UV) y/o las concentraciones de lactato en sangre (umbral de lactato=UL). El UV se determina por el cambio en la pendiente de la cinética de los gases en la ventilación (VCO_2 contra VO_2), recolectados durante la prueba de ejercicio máximo. El umbral de lactato (UL) se determina por el cambio en la pendiente de la cinética de las concentraciones de lactato en sangre (lactato contra tiempo) o por el denominado OBLA (por sus siglas en inglés de "Onset Blood Lactate Accumulation"); este último corresponde al trabajo o VO_2 encontrado, cuando la concentración de lactato en sangre alcanza los

4 mM (6). El concepto de UA, indica que la intensidad del ejercicio no debe exceder dicho umbral para que la demanda energética sea abastecida por la vía aeróbica, ya que por abajo de este punto el sujeto utilizará predominantemente las vías oxidativas y por arriba de este punto, la demanda energética extra de trabajo será suministrada por la glucólisis anaeróbica. Los sujetos con alto acondicionamiento físico, presentaron este umbral a una intensidad superior al 80% del VO_2 max, mientras que la población físicamente activa, pero no de alto rendimiento, mostraron valores en el intervalo del 40 al 60% VO_2 max (6).

CARACTERÍSTICAS DEL EJERCICIO AERÓBICO: CONTINUO E INTERMITENTE

El ejercicio aeróbico, como su nombre lo indica, se caracteriza por emplear el metabolismo oxidativo aeróbico para obtener la energía. Las actividades desarrolladas en el ejercicio aeróbico son muy diferentes, como por ejemplo: caminar, trotar, correr, nadar, entre otras. Este ejercicio se puede realizar de forma continua o intermitente, es decir sin pausas o con pausas. En el ejercicio continuo la intensidad del ejercicio es baja a moderada y para que los efectos sean preferentemente sobre el metabolismo aeróbico se recomiendan sesiones mayores de 15 min. En el ejercicio intermitente se realiza un ejercicio de intensidad moderada a alta y las pausas pueden ser de forma activa (disminuyendo la intensidad) o pasiva (con descansos) dependiendo de la intensidad del ejercicio y pueden ser de 30 s a 3 min de duración. El propósito del ejercicio intermitente es estimular, en un solo ejercicio ambas vías metabólicas, la anaeróbica y la aeróbica. La activación de la vía anaeróbica será mayor, conforme la diferencia de tiempo entre dos repeticiones de alta intensidad sea más grande, así como mayor la diferencia en

carga entre dos diferentes intensidades y menor el tiempo de pasar de una baja intensidad a otra de alta intensidad. Por otro lado, la activación de la vía aeróbica será mayor entre más tiempo se sostenga una determinada intensidad (6).

Para los sujetos SES se diseñaron tres protocolos de ejercicio aeróbico, un ejercicio continuo y dos de tipo intermitente con equipo de pesas, ya sea ejercicio intermitente extensivo o bien ejercicio intermitente intensivo. La diferencia entre estos dos tipos de ejercicio intermitente radica fundamentalmente en la intensidad relativa del trabajo y la relación de tiempos trabajo/descanso. Los tres ejercicios fueron diseñados de tal manera que fueran semejantes en la magnitud total del trabajo realizado y el tiempo de ejecución y donde la intensidad fue medida por la FC, registrada continuamente durante los ejercicios. En la sesión aeróbica continua, corrieron en una banda sinfín durante 35 min a una velocidad de moderada intensidad. En otras dos ocasiones realizaron los ejercicios con pesas, en ambas los sujetos realizaron dos veces un mismo circuito de 7 ejercicios, abarcando diferentes masas musculares. En el ejercicio extensivo, para cada determinado músculo, ejecutaron 30 repeticiones durante 60 s entre el 30 y 40% de una

repetición máxima (1 RM), y con descansos de 15 s entre cada serie de ejercicios. En el ejercicio intensivo, levantaron cuantas veces pudieron durante 30 s el 65% de 1 RM y con descansos de 60 s entre serie de ejercicios (Tabla 2). El tiempo programado para los ejercicios se cumplió en 78% para el ejercicio continuo y 90% para el extensivo, por causa de fatiga prematura de los sujetos, lo cual impactó en el gasto calórico total y reflejó que los sujetos poseían una baja resistencia muscular. Para fines de registro de las variables del ejercicio, el gasto calórico sí se pudo calcular en el ejercicio continuo, por medio de los registros de VO_2 , pero no así en el ejercicio de pesas extensivo, donde solo se contó con los registros de la intensidad del ejercicio por medio de la FC.

Para los sujetos CES se diseñaron dos sesiones de ejercicio en banda sinfín (una de tipo continuo y otra de tipo intermitente), corriendo 14 km durante 90 min. En la sesión de tipo continuo corrieron a una velocidad constante de 9.3 km/h. En la tipo intermitente intercambiaron constantemente dos velocidades: la primera a 7.2 km/h durante 3 min y la segunda a 17.7 km/h durante un minuto. El cambio entre las dos velocidades se realizó en un tiempo no mayor de 10 s.

TABLA 2

Descripción de las sesiones de ejercicios con pesas: extensivo e intensivo

	Método extensivo	Método intensivo
Intensidad	40% RM	60% RM
Repeticiones	30 repeticiones en 60 s.	El mayor número posible en 30 s.
Velocidad del ejercicio	^a constante, baja o moderada	^c Rápida y explosiva
Recuperación entre series	60 s.	15 s.
Recuperación entre circuitos	3 min	3 min
Número de circuitos	2.0 ± 0.4	2.3 ± 0.7

% RM= porcentaje de una repetición máxima voluntaria de cada sujeto. ^aSignifica que el ejercicio no representa para el sujeto un esfuerzo agotador ^csignifica que el sujeto realiza el ejercicio aplicando un esfuerzo alto.

TABLA 3

Características del ejercicio realizado

	SES (n=8)			CES (n=15)	
Tipo de ejercicio	Carrera continua 35 min	Pesas extensivo 35 min	Pesas intensivo 21 min	Carrera continua 90 min	Carrera intermitente 90 min
Trabajo (kcal)	390 ± 148	ND	ND	913 ± 111	1031 ± 152*
FC (lat/min)	141 ± 13	142 ± 14	153 ± 9	123 ± 15	138 ± 18
% FC ejercicio	75 ± 7	75 ± 8	80 ± 5	67 ± 7	72 ± 5
%VO ₂ max	60.3 ± 12.3	ND	ND	44.4 ± 5.6	51.1 ± 7.5
VO ₂ mL/kg/min	36.5 ± 12.5	ND	ND	33.6 ± 3.6	39.9 ± 7.0
Lactato inicial, mM	2.1 ± 0.4	2.4 ± 0.8	1.9 ± 0.8	1.60 ± 0.4	2.0 ± 0.1
Lactato final, mM	3.2 ± 0.7	14.0 ± 3.3	16.6 ± 1.3	2.3 ± 0.8	4.0 ± 1.5*
TIR promedio	0.85 ± 0.03	ND	ND	0.75 ± 0.05	0.79 ± 0.06

Los valores se presentan en promedios ± ds. SES = sin entrenamiento sistemático, CES = con entrenamiento sistemático, FC = frecuencia cardiaca, VO₂ = consumo de oxígeno, VO₂ max = consumo máximo de oxígeno. * p < 0.05 con relación al continuo de 90 min (t de Student para muestras dependientes). ND = no determinado

RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A LOS EJERCICIOS AERÓBICOS

Las características físicas del grupo SES y del grupo CES se muestran en la Tabla 1; como se esperaba, la capacidad aeróbica fue mayor en el grupo CES, es decir presentaron un VO₂ max y un UL mayor. Conforme a los lineamientos de la American College of Sports Medicine, los dos grupos de sujetos mostraron un VO₂ max considerado como de alto acondicionamiento aeróbico (VO₂ max > 51 mL/kg/min). Sin embargo, de acuerdo al UL, el grupo SES se encuentra entre la población saludable (40-60% VO₂ max) pero no entrenada. En cuanto al índice de masa corporal (IMC) y el porcentaje de grasa, en ambas poblaciones se encuentran entre la población sin riesgos relativos a morbilidad y mortalidad de enfermedades cardiovasculares (IMC de 18.5 a 24.9, porcentaje de grasa entre 8.0 y 19.9%) (6).

Como se observa en la Tabla 3, el

grupo SES trabajó a intensidades similares durante la carrera continua y el trabajo de pesas extensivo (frecuencia cardiaca ~ 140 latidos/min). En esta misma Tabla se ve que entre los ejercicios de pesas, el ejercicio intensivo fue ligeramente de mayor intensidad que el ejercicio extensivo, de tal forma que durante el ejercicio intensivo se detectó una FC mayor. Por otra parte, el lactato al final del ejercicio continuo no fue superior al basal (2.1 ± 0.4 vs 3.2 ± 0.7 mM, basal y final, respectivamente), pero sí en el ejercicio de pesas extensivo e intensivo el cual fue de 2.4 ± 0.8 vs. 14 ± 3.3 mM y 1.9 ± 0.8 vs. 16.6 ± 1.3, basal vs. final de pesas extensivo e intensivo, respectivamente, p < 0.05. Lo anterior indica que en el ejercicio continuo predominó el metabolismo oxidativo aeróbico y el ejercicio de intervalos con pesas fue más apoyado por el anaeróbico con producción de lactato.

En el grupo CES, el ejercicio de

carrera intermitente fue de mayor intensidad y demandó más energía que la carrera continua (913 ± 111 vs. 1031 ± 152 kcal, continuo e intermitente, respectivamente, p < 0.05). Por otra parte, al comparar los ejercicios entre ambos grupos, la intensidad del esfuerzo, medida en forma relativa, fue mayor para los sujetos SES que para los CES (%VO₂ max = 60.3 ± 12.3% vs. 44.4 ± 5.6%, SES y CES, respectivamente), aunque la cantidad de trabajo fue mucho menor para los primeros (390 ± 148 kcal). Estas intensidades representaron para los sujetos SES, una carga de trabajo entre moderada y alta, en cambio para los sujetos CES les representaron cargas entre ligeras y moderadas (6).

INDICADORES BIOQUÍMICOS DE RIESGO METABÓLICO

Los indicadores bioquímicos de riesgo para el síndrome metabólico (SM) son: glucosa en ayuno mayor a 110

TABLA 4

Concentraciones en plasma de glucosa, triacilglicérol y C-HDL, antes y después del ejercicio

Tipo de ejercicio	Carrera continua 35 min		Pesas extensivo 35 min		Pesas intensivo 21 min		Carrera continua 90 min		Carrera intermitente 90 min	
	Basal	Final	Basal	Final	Basal	Final	Basal	Final	Basal	Final
Glucosa, mg/dl	77.4	67.8	71.2	83.7	79.3	98.1	89.0	90.7	88.3	92.6
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	11.9	14.4*	7.7	17.5*	15.9	14.3*	7.2	10.2	7.7	10.2*
TAG, mg/dl	123.5	106.0	116.1	126.6	164.6	193.8	92.6	96.0	84.9	93.7
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	81.9	45.9	58.0	44.6	86.6	83.1*	27.9	23.1	30.5	25.0*
C-HDL, mg/dl	36.8	36.4	36.9	43.8	39.7	42.3	37.1	39.8	38.2	43.1
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	9.7	6.4	9.5	10.8*	8.7	10.3	9.7	9.6*	10.1	12.5*

Los valores se presentan en promedios $\pm$ ds. SES = sin entrenamiento sistemático, CES = con entrenamiento sistemático, TAG = triacilglicérol, C-HDL = colesterol de las lipoproteínas de alta densidad. * $p < 0.05$, con respecto al basal dentro de sus grupos (t de Student para muestras dependientes) Las concentraciones de la glucosa y lípidos se corrigieron por el hematocrito.

mg/dL, TAG superiores a 150 mg/dL y C-HDL inferior a 40 mg/dL (3).

En la Tabla 4, se observa que en ambos grupos, SES y CES, las concentraciones de glucosa en ayuno fueron semejantes y consideradas sin riesgo de presentar SM y en esta condición los sujetos realizaron los ejercicios. La concentración de la glucosa en sangre está regulada hormonalmente por la insulina y el glucagón. La célula muscular utiliza la glucosa que procede tanto del hepatocito, como de su reserva en forma de glucógeno. La glucosa sanguínea entra a la célula muscular por medio de los transportadores de glucosa tipo 4 (GLUT4). El ejercicio, por efecto adrenérgico y por la contracción muscular, estimula la translocación de estos transportadores hacia la membrana plasmática (8). La capacidad de la célula para captar glucosa en condiciones de ejercicio intenso, dependerá de la cantidad de GLUT4 que posea el músculo (9). Por otro lado, el realizar un ejercicio prolongado disminuirá la reserva muscular de glucógeno, y el no ingerir alimentos con alto contenido de glucosa después del ejercicio, estimu-

lará la expresión muscular del gen de GLUT4 y su síntesis (10). Por lo anterior, se recomienda no ingerir alimentos con alto contenido de glucosa posterior al ejercicio, para así favorecer el aumento de los GLUT4 y por lo tanto el aumento en la sensibilidad a la insulina. La glucosa intramuscular proviene de la vía de la glucogenólisis, vía estimulada por efecto adrenérgico y por el glucagón ya que a mayor intensidad del ejercicio, es mayor la liberación de adrenalina a la sangre y por lo tanto, es mayor la degradación del glucógeno (11). El ayuno también ha mostrado influir en el catabolismo de este sustrato y como se sabe, al igual que el ejercicio, favorece el aumento del glucagón y la disminución de la insulina. La condición de ayuno y/o ingesta y la duración e intensidad del ejercicio, determinan la proporción de glucosa que se emplea de fuentes extracelulares e intracelulares.

En la Tabla 4 se puede observar que los sujetos CES con respecto a los SES, presentan en ayuno concentraciones de TAG en plasma ligeramente menores, pero sin llegar a ser estadísticamente diferentes. Los TAG,

proporcionan los ácidos grasos que se oxidan durante el ejercicio y pueden provenir del tejido adiposo subcutáneo o visceral, del tejido intermuscular e intramuscular y aún se encuentra en controversia si también de los provenientes de las lipoproteínas del plasma ricas en triacilglicérol (LRT) (12). Un estado inicial de resistencia a la insulina se manifiesta con un aumento gradual de los TAG en plasma, ya que al no ser suficiente el aporte de glucosa hacia el hepatocito, la re-esterificación de los ácidos grasos estará disminuida. Por lo anterior los ácidos grasos pasan a la sangre y al llegar al hepatocito se estimula su re-esterificación e integración a las LRT, resultando con ello un aumento de los TAG totales en plasma (13). El análisis de los sujetos SES mostró que algunos ya sobrepasaban el límite de TAG de 150 mg/dl, sugerido como indicador de riesgo a desarrollar el SM (Fig. 1). Es de esperarse que el entrenamiento sistemático de estos sujetos mejore sus valores de TAG. El entrenamiento confiere una mayor capacidad oxidativa del músculo, una mayor oxidación de ácidos grasos y una

más alta expresión y actividad de la lipasa de lipoproteínas (LPL) muscular, que promueve la disminución de los TAG en las LRT para que después del ejercicio se reabastezca de ácidos grasos el músculo (14).

La concentración de las C-HDL se ha encontrado elevada en sujetos con mayor acondicionamiento aeróbico (15, 16); su metabolismo se encuentra relacionado con las LRT, ya que el flujo de colesterol hacia las HDL y su posterior esterificación depende, entre otras variables, de la actividad y cantidad de la LPL muscular, de la lecitina:colesterol aciltransferasa (LCAT) y de la proteína transferidora de fosfolípidos (PTPL), todas ellas estimuladas por el ejercicio (17). La LPL, al estimular la degradación de las LRT, puede favorecer la disponibilidad de los fosfolípidos en plasma y facilitar la esterificación del colesterol por medio de la LCAT. Por otra parte, el ejercicio estimula el flujo del colesterol de los tejidos hacia las HDL a través de estimular su síntesis *de novo* (16), de tal manera, en el presente estudio se encontró que en

la población SES, a mayor cantidad de TAG menor de C-HDL ($R^2 = 0.44$, $p = 0.05$, prueba de Spearman) (Fig. 1), lo cual significa que un entrenamiento enfocado a mejorar la capacidad aeróbica impactaría en disminuir los TAG y aumentar el C-HDL (Tabla 4). Los sujetos de ambos grupos SES y CES, presentaron valores promedio de C-HDL inferiores a lo recomendado en la guía ATP III, emitida por el panel de expertos en colesterol (3). Las razones por las que el C-HDL en el grupo CES se encuentra por debajo de lo observado en poblaciones altamente entrenadas (> 51 mg/dl) requiere de mayores estudios ya que con los presentes resultados no es posible explicarlo.

INDICADORES DE ACONDICIONAMIENTO FÍSICO ASOCIADOS A INDICADORES BIOQUÍMICOS DE RIESGO METABÓLICO

El VO_2 es el indicador de acondicionamiento físico más conocido, estudiado y que ha mostrado mayor asociación con riesgos de morbilidad y mortalidad para todas las enfermeda-

des. El incremento de 1 mL/kg/min en el VO_2 max se ha asociado a la reducción de un 10% en la mortalidad cardíaca de mujeres de la tercera edad (18). Asimismo, en pacientes con enfermedades del corazón, por cada 3.5 mL/kg/min de incremento en la capacidad de realizar trabajo físico, se reducen en un 10% las causas totales de muerte (19). El VO_2 max se correlaciona directamente con la concentración de C-HDL (20). En nuestro laboratorio se han encontrado resultados semejantes a los reportados: en población físicamente activa, el grado de acondicionamiento aeróbico, medido como VO_2 max y UL, ha correlacionado positivamente con la concentración plasmática del C-HDL (15), en cuanto al umbral de lactato, no encontramos estudios donde se relacione esta variable con modificaciones en lípidos plasmáticos y el síndrome metabólico.

Otro parámetro de acondicionamiento físico poco estudiado y su relación con los indicadores de riesgo metabólico, es la proporción de los sustratos, glucosa y ácidos grasos, como fuente energética durante el trabajo físico. Esta relación se conoce como tasa de intercambio respiratorio (TIR). La TIR es obtenida de la relación del volumen de bióxido de carbono espirado, respecto del volumen de oxígeno inspirado (VCO_2 espirado/ VO_2 inspirado). Sin embargo, es necesario que el VCO_2 producido sea el resultado de la oxidación de los sustratos y no del aumento en la ventilación, inducida por la disminución del pH sanguíneo, como ocurre durante el ejercicio intenso. Por lo cual este cálculo es válido sólo para ejercicios sub-máximos, inferiores al OBLA. Si el valor de TIR es menor a 0.85 indica oxidación preferente de los lípidos, pero si es mayor a 0.85 entonces la oxidación preferente es de los carbohidratos (6). A una determinada intensidad sub-máxima de ejercicio,

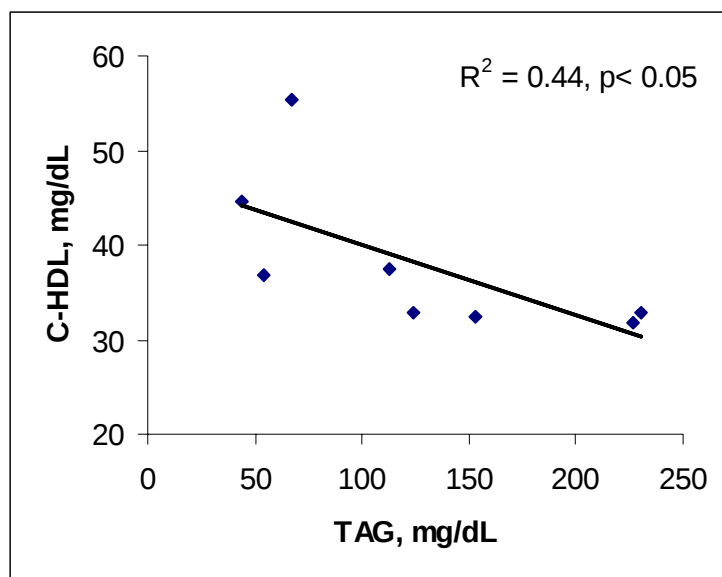


Figura 1. Correlación de las concentraciones en ayuno de los TAG y C-HDL en plasma de los sujetos sin entrenamiento sistemático (SES). TAG=triacilglicérols, C-HDL= Colesterol de las HDL, n=8.

la TIR es mayor en población sedentaria que en población físicamente activa (20). Por lo anterior, a mayor acondicionamiento aeróbico de los sujetos, mayor utilización de lípidos que de carbohidratos para una determinada intensidad de ejercicio (20). En un estudio con población físicamente activa se ha encontrado, que la TIR correlaciona positivamente con el C-HDL y el porcentaje de grasa ($r=0.88$ $p<0.01$) (15); este último es un indicador muy utilizado para clasificar riesgos de morbilidad y mortalidad para enfermedades cardiovasculares y SM.

En los presentes resultados y como se esperaba, la TIR durante la carrera fue menor en el grupo CES a pesar de que este grupo corrió a una intensidad de trabajo ($VO_2/kg/min$) similar al grupo SES (Tabla 3). El lactato en ambos grupos durante la carrera continua fue menor a 4 mM y ya que a intensidades sub-máximas de ejercicio, como en los experimentos realizados por nuestro grupo, la cinética de la TIR durante el tiempo se estabiliza posterior a 3 min (21), los valores que se obtuvieron en los sujetos estudiados son independientes del efecto de la hiperventilación y de la duración del ejercicio. Resultados similares se han encontrado a intensidades absolutas de trabajo pero no siempre en intensidades relativas (22). Esto significa que los sujetos CES con respecto a los SES, utilizaron por minutos y kilogramo de peso una mayor cantidad de lípidos durante la carrera continua. Esta respuesta puede ser debida a una mayor capacidad oxidativa de lípidos, comúnmente encontrada en los sujetos entrenados con respecto a los no entrenados (21). La TIR menor a 0.85 encontrada en los sujetos CES durante el ejercicio de carrera intermitente (Tabla 3), también indica que el metabolismo oxidativo de lípidos no fue impedido por las repeticiones de ejercicio de alta intensi-

dad. A mayor utilización de lípidos durante el ejercicio, es mayor el empleo de su fuente intramiocelular (23). La TIR de los sujetos estudiados indica que el grupo SES utilizó menos esta fuente de lípidos. Se tiene reconocido que el incremento en la utilización intramiocelular de lípidos por el ejercicio es importante, ya que la cantidad de lípidos intramiocelulares sin movilizarse se asocia directamente con resistencia a la insulina (24).

RESPUESTA AGUDA EN LAS CONCENTRACIONES DE GLUCOSA, TAG Y C-HDL AL FINALIZAR LOS EJERCICIOS AERÓBICOS CONTINUO E INTERMITENTE

Los resultados de los estudios donde se reportan las modificaciones en las concentraciones de glucosa, TAG y C-HDL al finalizar un ejercicio aeróbico son inconsistentes (16, 25, 26, 27).

Se ha encontrado que las concentraciones de glucosa en plasma al final de un ejercicio aeróbico continuo en población activa no cambia (28). En nuestro estudio, en los sujetos SES la glucosa disminuyó en un 13% al final de la carrera de 30 min, en cambio aumentó en aproximadamente 18% al final de los ejercicios con pesas (Tabla 4). Por otro lado, en los sujetos CES la glucosa aumentó en 6% solo al final del ejercicio intermitente. Lo anterior significa que la glucosa aumenta cuando el ejercicio se realiza de manera intermitente (pesas o carrera) y disminuye o no cambia por el ejercicio continuo. Con esto se concluye que los cambios continuos y agudos en la intensidad del ejercicio aumentan las concentraciones de glucosa en sangre, por lo que, al medir la modificación en la concentración de glucosa en sangre posterior al ejercicio, se debe considerar la forma de realizar el ejercicio. El aumento de la glucosa al final de los ejercicios de tipo intermitente pudo deberse al in-

cremento en el glucagón y al estímulo adrenérgico provocado por la relación trabajo/descanso y a la mayor intensidad promedio del ejercicio observada durante los ejercicios (25). Si bien no se midió el efecto adrenérgico del ejercicio, se sabe que la adrenalina además del glucagón aumentan debido a la intensidad del ejercicio y a mayor concentración de estas hormonas, mayor es la gluconeogénesis (26).

Por otro lado, para mejorar el rendimiento físico y la salud, lo conveniente es que las concentraciones de glucosa en sangre no disminuyan durante el ejercicio, ya que esto acarrea un mayor empleo del glucógeno muscular, una rápida depleción del mismo y por lo tanto la pronta aparición de la fatiga (29). No podemos predecir el tiempo en que hubiera aparecido la fatiga en los sujetos SES, pero sí destacar que los sujetos CES fueron capaces de mantener sus niveles de glucosa durante la carrera a pesar de trabajar durante un periodo de tiempo 3 veces más prolongado. Por lo anterior, se considera que el grado de entrenamiento físico pudo también influir en la diferente respuesta de la glucosa en este tipo de ejercicio.

Cuando se analizaron las concentraciones de los TAG en ayuno en ambas poblaciones se observó que no se modificaron por el ejercicio continuo, pero que aumentaron al final del ejercicio intermitente (aumento del 17.7 y 10.4% para el grupo SES y CES, respectivamente) (Tabla 4). Los resultados del ejercicio continuo son semejantes a los descritos por otros autores (27). Por otro lado, para poder explicar el aumento en los TAG por el ejercicio intermitente se requiere saber si la secreción hepática de LRT es estimulada al final de un ejercicio; sin embargo, no se encontró en la literatura trabajos al respecto durante un ejercicio intermitente. Un posible aumento en las concentraciones de TAG al final del ejercicio puede ser produc-

to de una hemoconcentración producida por el ejercicio de larga duración, sin embargo al presentar los valores corregidos por el hematocrito, se eliminó dicho efecto.

El C-HDL aumentó en el grupo CES tanto después del ejercicio continuo (7.3%), como después del intermitente (12.8%) y en el grupo SES sólo al final del ejercicio extensivo (17.7%). Resultados similares se han encontrado con el ejercicio continuo (27) pero no se encontraron estudios realizados bajo un ejercicio intermitente. Para conocer qué determina el aumento del C-HDL al final del ejercicio, se deben hacer más ensayos y comparaciones controlando las variables de acondicionamiento físico, la intensidad y la cantidad del ejercicio. Desde el punto de la salud, e independientemente de los mecanismos por los que se incrementa el C-HDL, la meta es incrementar el C-HDL, y esto se observó en cualquier tipo de ejercicio en sujetos CES, pero solamente por el ejercicio extensivo en sujetos SES, indicando que el ejercicio intermitente también ofrece posibles beneficios en los indicadores de riesgo cardiovascular.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El análisis del efecto de dos tipos de ejercicio físico, continuo e intermitente, en dos poblaciones físicamente activas y que difieren en la forma de ejercitarse, con o sin un programa de entrenamiento sistemático, permitió observar que la concentración en plasma y en ayuno de glucosa, TAG y C-HDL, se modifican al final de los ejercicios. Se observó que dicha modificación difiere dependiendo, del tipo de ejercicio, de su intensidad y de la forma de realizarlo. Se encontró que el ejercicio de tipo continuo disminuye las concentraciones de glucosa en sujetos SES, en cambio aumenta el C-HDL en sujetos CES. El ejercicio de tipo intermitente aumenta las concentraciones de glucosa, TAG y C-HDL en ambos grupos al final del ejercicio. Los resultados sugieren que el ejercicio continuo induce cambios agudos en la concentración de glucosa y C-HDL, que podrían representar adaptaciones graduales al entrenamiento sistemático. En contraste, el ejercicio intermitente modifica de manera independiente al entrenamien-

to sistemático los indicadores plasmáticos del metabolismo de lípidos y glucosa.

El campo del entrenamiento físico para la salud es muy amplio y requiere de más estudios que permitan aplicar el ejercicio adecuadamente. De ahí la importancia de continuar analizando en poblaciones con diferente nivel de acondicionamiento, tanto el efecto crónico, como el agudo del ejercicio físico. Por otra parte, se considera conveniente estudiar la relación de la tasa de intercambio respiratorio con los factores de riesgo de adquirir el síndrome metabólico y el deterioro de la salud en general, ya que al ser una evaluación no invasiva y calcularse bajo intensidades sub-máximas, se puede aplicar a grandes grupos poblacionales.

Agradecimientos. Este trabajo recibió apoyo parcial de las siguientes instituciones PAPIIT-UNAM (IN218107, JOMA), CONACYT (HRPT y RJA) y PROMEP (HTRP). Un especial agradecimiento al programa de Doctorado en Ciencias Biomédicas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

REFERENCIAS

1. Lee S, Kuk JL, Katzmarzyk PT, Blair SN, Church TS, Ross R (2005) Cardiorespiratory fitness attenuates metabolic risk independent of abdominal subcutaneous and visceral fat in men. *Diabetes Care* 28:895-901.
2. Nechwatal RM, Duck C, Gruber G (2002) Physical training as interval or continuous training in chronic heart failure for improving functional capacity, hemodynamics and quality of life-a controlled study. *Z Kardiol* 91:328-337.
3. Grundy SM, Cleeman JI, Daniels SR, Donato KA, Eckel RH, Franklin BA, Gordon DJ, Krauss RM, Savage PJ, Smith SC, Jr, Spertus JA, Costa F (2005) Diagnosis and management of the metabolic syndrome: An American Heart Association/National Heart, Lung, and Blood Institute Scientific Statement. *Circulation* 112:2735-2752.
4. Pekka O (2000) Dose response between total volume of physical activity and health and fitness. *Med Sci Sports Exerc* 33:S428-S437.
5. Norton K, Olds T (1996) *Anthropometrica: A textbook of body measurement for sports and health courses*. University of New South Wales Press, Australia, p 411.
6. McArdle WD, Katch FI, Katch VL (2006) *Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance*. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, PA, USA, p 1184.
7. Whaley M (2005) *Guidelines for exercise testing and prescription*. American college of sports medicine. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, PA, USA, p 848.
8. Jones JP, Dohm GL (1997) Regulation of glucose transporter GLUT-4 and hexokinase II gene transcription by insulin and epinephrine. *Am J Physiol* 273:E682-687.
9. Rose AJ, Richter EA (2005) Skeletal muscle glucose uptake during exercise: How is it regulated? *Physiology (Bethesda)* 20:260-270.

10. Arkinstall MJ, Bruce CR, Clark SA, Rickards CA, Burke LM, Hawley JA (2004) Regulation of fuel metabolism by preexercise muscle glycogen content and exercise intensity. *J Appl Physiol* 97:2275-2283.
11. Watt MJ, Howlett KF, Febbraio MA, Spriet LL, Hargreaves M (2001) Adrenaline increases skeletal muscle glycogenolysis, pyruvate dehydrogenase activation and carbohydrate oxidation during moderate exercise in humans. *J Physiol* 534:269-278.
12. Kiens B (2006) Skeletal muscle lipid metabolism in exercise and insulin resistance. *Physiol Rev* 86:205-243.
13. Lewis GF, Carpentier A, Adeli K, Giacca A (2002) Disordered fat storage and mobilization in the pathogenesis of insulin resistance and type 2 diabetes. *Endocr Rev* 23:201-229.
14. Schmitt B, Fluck M, Decombaz J, Kreis R, Boesch C, Wittwer M, Graber F, Vogt M, Howald H, Hoppeler H (2003) Transcriptional adaptations of lipid metabolism in tibialis anterior muscle of endurance-trained athletes. *Physiol Genomics* 15:148-157.
15. Ramos-Jiménez A, Hernández-Torres RP, Torres-Durán PV, Mascher D, Posadas-Romero C, Juárez-Oropeza MA (2006) Ejercicio físico sistemático y sus efectos sobre la concentración de triacilglicérols, C-HDL y parámetros respiratorios y metabólicos. *REB* 25:108-115.
16. Olchawa B, Kingwell BA, Hoang A, Schneider L, Miyazaki O, Nestel P, Sviridov D (2004) Physical fitness and reverse cholesterol transport. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 24:1087-1091.
17. Gupta AK, Ross EA, Myers JN, Kashyap ML (1993) Increased reverse cholesterol transport in athletes. *Metabolism* 42:684-690.
18. Kavanagh T, Mertens DJ, Hamm LF, Beyene J, Kennedy J, Corey P, Shephard RJ (2003) Peak oxygen intake and cardiac mortality in women referred for cardiac rehabilitation. *J Am Coll Cardiol* 42:2139-2143.
19. Franklin BA, Swain DP (2003) New insights on the threshold intensity for improving cardiorespiratory fitness. *Prev Cardiol* 6:118-121.
20. Carter SL, Rennie C, Tarnopolsky MA (2001) Substrate utilization during endurance exercise in men and women after endurance training. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 280:E 898-907.
21. Bergman BC, Brooks GA: (1999) Respiratory gas-exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men. *J Appl Physiol* 86:479-487.
22. Friedlander AL, Casazza GA, Horning MA, Huie MJ, Brooks GA: (1997) Training-induced alterations of glucose flux in men. *J Appl Physiol* 82:1360-1369.
23. van Loon LJ, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D, Saris WH, Wagenmakers AJ (2001) The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *J Physiol* 536:295-304.
24. Virkamaki A, Korshennikova E, Seppala-Lindroos A, Vehkavaara S, Goto T, Halavaara J, Hakkinen AM, Yki-Jarvinen H (2001) Intramyocellular lipid is associated with resistance to in vivo insulin actions on glucose uptake, antilipolysis, and early insulin signaling pathways in human skeletal muscle. *Diabetes* 50:2337-2343.
25. Price M, Halabi K (2005) The effects of work-rest duration on intermittent exercise and subsequent performance. *J Sports Sci* 23:835-842.
26. Cooper DM, Barstow TJ, Bergner A, Lee WN (1989) Blood glucose turnover during high- and low-intensity exercise. *Am J Physiol* 257:E405-412.
27. Ferguson MA, Alderson NL, Trost SG, Davis PG, Mosher PE, Durstine JL: (2003) Plasma lipid and lipoprotein responses during exercise. *Scand J Clin Lab Invest* 63:73-79.
28. De Bock K, Richter EA, Russell AP, Eijnde BO, Derave W, Ramaekers M, Koninckx E, Leger B, Verhaeghe J, Hespel P (2005) Exercise in the fasted state facilitates fibre type-specific intramyocellular lipid breakdown and stimulates glycogen resynthesis in humans. *J Physiol* 564:649-660.
29. Shulman RG, Rothman DL: (2001) The "Glycogen shunt" In exercising muscle: A role for glycogen in muscle energetics and fatigue. *Proc Natl Acad Sci USA* 98:457-461.