

# Asociación de las respuestas fisiológicas a los cambios metabólicos, en el ejercicio físico extenuante

Acad. Dr. Jorge Sánchez-González,\* Dr. Antonio Rivera-Cisneros,\*\* LEF. J. Luz Tovar\*\*\*

## Resumen

Los objetivos fueron identificar los cambios en algunas variables hemáticas en ejercitantes recreacionales de nivel competitivo intermedio, expuestos a ejercicio físico extenuante, así como la asociación entre los cambios metabólicos producidos, las características personales y desempeño físico. Participaron 10 varones sanos, de 20 a 55 años de edad a quienes se determinaron variables hemáticas. El ejercicio produjo hemoconcentración por reducción en el volumen plasmático (8%,  $p < 0.05$ ). Existieron incrementos significativos en leucocitos (149%) a expensas de neutrofilia (64%), acompañados de disminución de linfocitos (74%). El fibrinógeno se elevó 10.7% ( $p < 0.05$ ). Los lípidos séricos (CT, C-LAD) no se modificaron, excepto las C-LBD que se incrementaron significativamente (71%), atribuido a la respuesta al estrés agudo del Maratón, mientras que los TG disminuyeron (47%). Las enzimas se elevaron significativamente, particularmente la CK. Al análisis multivariado encontró importante influencia de la edad y el desempeño físico sobre las variables metabólicas. Los datos obtenidos aportan nuevos conocimientos en las respuestas metabólicas y fisiológicas de nuestra población, expuesta a actividad física extenuante. A partir de ellos se podrán establecer criterios de riesgo y generar programas de intervención para la práctica segura y efectiva del ejercicio físico.

**Palabras clave:** respuestas metabólicas, ejercicio físico extenuante, lípidos, práctica efectiva de ejercicio físico.

## Summary

The purpose of this work was to identify changes in some hematic variables in recreational athletes of middle level competition exposed to exhaustive physical exercise, as well as the association among physiologic changes, personal characteristics, and physical level produced by marathon running. Ten healthy males participated (20-55 years of age). Blood cell count, blood chemistry, lipids, and enzymes were determined. Exercise produced hemoconcentration by reduction in plasma volume (8%;  $p < 0.05$ ). There was significant increment in leukocytes (149%) by neutrophilia (64%) and decrease in lymphocytes (74%). Fibrinogen increased 10.7% ( $p < 0.05$ ). Lipids (CT, C-HDL) did not modify, except C-LDL, which increased significantly (71%), attributing this response to stress of the marathon. Triglyceride decreased 47%. Enzymes increased significantly, particularly CK. Age and physical activity were related with physiologic and metabolic variables, as demonstrated by multivariate analysis. These data contributed to new knowledge in physiologic responses of our ethnic race when exposed to exhaustive exercise such as a marathon. To these results new approaches of risk and different schedules of intervention programs could be generated for better and effective practice of physical exercise in our population.

**Key words:** Metabolic responses, Exhaustive physical exercise, Effective practice of physical exercise, Lipids.

## Introducción

En gran número de estudios se ha encontrado asociación positiva entre la práctica de ejercicio y un adecuado estado de

salud. Ello ha propiciado el estudio y el fomento de diferentes tipos de ejercicio para mejorar las condiciones de salud del ser humano en poblaciones enfermas. La imagen de éxito deportivo y salud en torno a los deportistas que participan en carreras como el Maratón, ha motivado que un gran número de mexicanos participe, a nivel recreativo en este tipo de deporte. Además, la carrera es la modalidad aceptada de acondicionamiento físico atlético que genera importantes beneficios para la capacidad aeróbica y mantenimiento de la salud<sup>(1)</sup>.

En México, se estima que existen alrededor de 100 eventos de medio y gran fondo en los que participan más de 100,000 atletas al año, muchos de los cuales no cuentan con la suficiente magnitud y calidad de entrenamiento para afrontar una demanda fisiológica tan extenuante como el Maratón. Los corredores que no tienen un alto nivel competitivo son particularmente vulnerables a diversos eventos que pueden poner en riesgo su salud, como la fatiga extrema, los trastornos provocados por el calor, la hipoglucemia o even-

\* Laboratorios LABPAC.

\*\* Universidad de Guanajuato.

\*\*\* Club Deportivo Punto Verde de León.

Trabajo presentado en la Academia Mexicana de Cirugía

*Solicitud de sobretiros:*

Acad. Dr. Jorge Sánchez-González

Mendelssohn 208 Col. León Moderno, León, Gto. México.

Correo electrónico: labjsg@prodigy.net.mx,

juevesm@yahoo.com, jorge.sánchez@conamed.gob.mx.

Recibido para publicación: 27-05-2003.

Aceptado para publicación: 20-06-2003.

tos cardiovasculares como el infarto agudo del miocardio<sup>(1-3)</sup>. Muchos de estos corredores intentan terminar los eventos en los que participan, ignorando los síntomas premonitorios de un colapso. No se cuenta con casuísticas nacionales sobre el número de eventos fatales que ocurren durante este tipo de competencias.

En la literatura médica y científica se han tratado de establecer indicadores clínicos y metabólicos para diagnosticar y establecer un pronóstico oportuno del efecto del ejercicio extenuante en el ser humano. Entre estas características clínicas destacan las neurológicas, el estado de conciencia, la presión arterial, la frecuencia cardíaca, y el estado de sudoración. Dentro de los estudios de la medicina de laboratorio se ha propuesto la búsqueda intencional<sup>(4-7)</sup> de los valores del hematocrito, del pH, del lactato, de las presiones parciales arteriales de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, del sodio, potasio, cloro, calcio, fosfato, BUN, creatinina, ácido úrico, aminotransferasas, deshidrogenasa láctica, creatina cinasa (CK), las plaquetas, el tiempo de protrombina, tiempo parcial de tromboplastina activada y en orina la presencia de proteinuria, eritrocitos o mioglobina<sup>(4,7)</sup>.

A pesar de que existen estudios sobre métodos para la atención oportuna del atleta colapsado durante un evento deportivo; se han identificado escasos estudios sobre las respuestas y adaptaciones fisiológicas y metabólicas al Maratón<sup>(2-3,8-12)</sup>. En nuestro país, es prácticamente nula la información al respecto y tampoco se tienen establecidos los valores de referencia para las variables hemáticas obtenidas de rutina en el laboratorio clínico, ni los niveles enzimáticos en ejercitantes sanos. Por tanto, los objetivos del presente estudio fueron identificar los

cambios en algunas variables hemáticas selectas, indicadoras de riesgo cardiovascular, producidos por el esfuerzo de correr el Maratón bajo presión atmosférica reducida, en un grupo de maratonistas de nivel competitivo intermedio. Así mismo, interrelacionar, a través de análisis multivariado, los cambios metabólicos producidos por el Maratón con las características personales, desempeño deportivo y cambios enzimáticos producidos por el ejercicio. Se plantea la hipótesis de que el nivel de acondicionamiento físico y la edad influyen significativamente sobre las respuestas metabólicas agudas en el ejercicio físico extenuante.

## Material y métodos

El presente estudio es de naturaleza *cuasi experimental*, dirigido a identificar los cambios fisiológicos efectuados por una carrera de Maratón corredores voluntarios.

La naturaleza, objetivos y procedimientos del estudio fueron explicados a los participantes y se obtuvo su consentimiento verbal y por escrito. Se estudiaron 10 sujetos sanos, con nivel de entrenamiento adecuado para participar en un evento deportivo como el Maratón. Sus características clínicas se aprecian en los cuadros I y II. El margen de maratones en los que previamente participaron oscilaron entre 1 y 10. Quince días antes del evento, a los participantes se les tomó el tiempo utilizado en recorrer 10 km sobre pista de atletismo. El tiempo se utilizó como predictor para pronosticar el tiempo que se usaría en el Maratón.

Cinco días después de haberse practicado la prueba de los 10 km, los participantes fueron citados al laboratorio de fisiología humana, en condiciones de reposo adecuado y 10 a 12 horas de ayuno. Durante el día del estudio la temperatura ambiente fue  $22 \pm 3$  grados Celsius y  $50 \pm 2$  % de humedad relativa. A su llegada se les practicó historia clínica completa, orientada a detectar todos aquellos padecimientos y condiciones en su estado de salud que pudieran afectar las variables del estudio. También se les efectuó estudio de composición corporal<sup>(13)</sup>, cuyos resultados se exponen en los cuadros I y II.

Con el fin de evaluar el estado de salud y pronosticar el desempeño deportivo, a los participantes se les colocaron

**Cuadro I.** Características clínicas de los participantes (n = 10)

	Edad (años)	Peso (kg)	Estatura (m)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Grasa corp. (%)
$\bar{X}$	37.9	63.85	1.62	24.27	12.25
DE	9.49	10.06	0.07	1.98	3.25
EEM	3.16	3.35	0.02	0.594	1.20

$\bar{X}$  = media, DE = desviación estándar, EEM = error estándar de la media, IMC = Índice de masa corporal.

**Cuadro II.** Características atléticas de los participantes (n = 10)

	Maratones participados (Número)	Tiempo 10 km (min.)	Maratón predicho (horas)	Maratón observado (horas)	VO <sub>2</sub> max observado (ml/kg/min)
$\bar{X}$	3.60	41.30	2.83	2.93	52.3
DE	2.76	6.59	0.65	1.49	1.4
EEM	0.87	2.08	0.21	0.47	0.44

**Cuadro III.** Características cardiovasculares de los participantes (n = 10)

	PAS i	PAD i	PAS f	PAD f	FC i	FC f
$\bar{X}$	110	69	122	71	60	76
DE	15	10	16	12	5	6
EEM	5	3	5	4	2	2

PAS = presión arterial sistólica, PAD = presión arterial diastólica, FC = frecuencia cardiaca, i = inicial, f = al final del maratón.

electrodos precordiales en las derivaciones v4 y v5 para registro electrocardiográfico. Entonces, los participantes efectuaron una prueba de ejercicio físico máximo con protocolo del Colegio Norteamericano de Medicina del Deporte (ACSM). La prueba se efectuó sobre banda sin fin y monitor electrocardiográfico con osciloscopio y desfibrilador. Se obtuvo registro electrocardiográfico continuo en V4-V5, cuantificándose la frecuencia cardiaca en los últimos 10 segundos de cada minuto que duró la prueba. Se calculó para cada sujeto la frecuencia cardiaca máxima media predicha

**Cuadro IV.** Cambios en la celularidad hemática producidos por el Maratón (n = 10)

<b>Antes del maratón</b>							
	Eritrocitos (mil/mm <sup>3</sup> )	Hg (g/dl)	Hto (%)	VGM (fL)	HCM (pg)	CMHg (%)	Plaquetas (mil/mm <sup>3</sup> )
$\bar{X}$	5.06	14.72	47.5	95.45	29.07	29.83	216,600
DE	0.28	1.15	2.27	3.24	0.96	0.84	37,315
EEM	0.09	0.38	0.76	1.08	0.32	0.28	12,438
<b>Después del maratón</b>							
	Eritrocitos (mil/mm <sup>3</sup> )	Hg (g/dl)	Hto (%)	VGM (fL)	HCM (pg)	CMHg (%)	Plaquetas (mil/mm <sup>3</sup> )
$\bar{X}$	5.095.06	15.24	48.25	96.24	30.2	30.31	248,200
DE	0.42	0.98	2.40	3.42	1.17	0.72	82,742
EEM	0.14	0.33	0.80	1.14	0.39	0.24	27,581

$\bar{X}$  = media, DE = desviación estándar, EEM = error estándar de la media. Hg = hemoglobina, Hto = hematocrito, VGM = volumen globular medio, HCM = hemoglobina corpuscular media, CMHg = concentración media de hemoglobina.

**Cuadro V.** Cambios leucocitarios producidos por el Maratón (n = 10)

<b>Antes del maratón</b>							
	Leucocitos (mil/mm <sup>3</sup> )	Linfo (%)	MEB (%)	Neutro (%)	Linfo (mil/mm <sup>3</sup> )	MEB (mil/mm <sup>3</sup> )	Neutro (mil/mm <sup>3</sup> )
$\bar{X}$	7,500	39	10	51	2,925	713	3,825
DE	2,040	5	2	5	112	39	111
EEM	680	2	1	2	12	4	12
<b>Después del maratón</b>							
	Leucocitos (mil/mm <sup>3</sup> )	Linfo (%)	MEB (%)	Neutro (%)	Linfo (mil/mm <sup>3</sup> )	MEB (mil/mm <sup>3</sup> )	Neutro (mil/mm <sup>3</sup> )
$\bar{X}$	18,710	10	6	84	1,871	1,141	15,679
DE	5,126	5	1	5	260	74	268
EEM	1,709	2	1	2	29	17	30

Linfo = Linfocitos; MEB = Monocitos, Basófilos, Eosinófilos; Neutro = Neutrófilos.

para la edad, considerándose como criterio de máximo esfuerzo: 1. la percepción del individuo, 2. su apariencia física, 3. la obtención de por lo menos 90% de la frecuencia cardíaca máxima predicha para la edad, y 4. una meseta en la frecuencia cardíaca máxima a pesar de cargas aumentantes de trabajo. En breve, el protocolo de ACSM consiste en una programación de la banda a 133 metros por minuto, un inicio de su pendiente a 5% con incrementos graduales de 1% por cada minuto de ejercicio. Durante toda la prueba, el electrocardiograma se monitoreó y registró la frecuencia cardíaca los últimos 10 segundos de cada minuto en electrocardiograma de 12 derivaciones. La prueba se diseñó para durar no más de 15 minutos, modificando velocidad y pendiente. Se fijaron como criterios para calificar la capacidad física para realizar máximo esfuerzo, los aceptados universalmente<sup>(14,15)</sup>. Antes de la prueba de ejercicio físico máximo, por venopunción, y después de permanecer sentados por 10 minutos, se extrajeron muestras hemáticas para procesar citometría hemática (CH); fibrinógeno (Fib); glucosa (Glu); lípidos séricos: colesterol total (CT), triglicéridos (TG), colesterol en las lipoproteínas de alta y baja densidad

(C-LAD, C-LBD); deshidrogenasa láctica (DHL), creatina cinasa (CK) y aminotransferasa glutámico oxalacética (TGO). A estas muestras se les consideraron basales<sup>(16-21)</sup>. A partir de la permanencia sobre la banda, en la prueba de esfuerzo, se estimó el consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>max) de acuerdo a fórmulas establecidas<sup>(21,22)</sup>.

El maratón se corrió, en la ciudad de León, Gto., a una altura de 1800 ± 10 metros sobre el nivel del mar, y con presión barométrica de 618 mmHg. El maratón se desarrolló entre las 7 y las 12 horas con temperatura al inicio de 14 grados Celsius y al término a 28 grados Celsius, la humedad relativa fue de 48 ± 3%, condiciones dentro de los límites reportados<sup>(8,11)</sup>.

Previamente, se les indicó que se despertaran a las 5:00 horas a.m., periodo en el que consumieron alimentación basada en frutas (aproximadamente 500 kcal) e hidratación. Los participantes se presentaron 1 hora antes de la salida del maratón. Se obtuvo su peso con calzoncillo deportivo, camiseta y descalzo. Permanecieron sentados por 10 minutos, al cabo de los cuales se les puncionó la vena cefálica y se obtuvo muestra para la determinación de las mismas variables hemáticas obtenidas en la sesión de ejercicio físico máximo.

Los participantes conservaron un paso de maratón de acuerdo al tiempo predicho a partir de la prueba de los 10 km. Se les indicó que consumieran líquidos a lo largo del evento. En los primeros 10 km, bebieron exclusivamente agua. De los kilómetros 10 al 30 bebieron agua y soluciones electrolíticas comerciales al 3.5%. Entre ambas distancias ingirieron 200 ml por cada 5 km. A partir del km 30 la ingesta fue *ad libitum*, alternando ingestas de agua y soluciones electrolíticas preparadas por ellos que oscilaron entre 3.5 y 5%. Al finalizar el maratón, investigadores asociados condujeron a los participantes a la zona de recolección de datos ubicada a 500 m de la línea de meta. El esquema de reposi-

**Cuadro VI.** Cambios en el fibrinógeno y glucosa, producidos por el maratón (n = 10)

	FIB i (mg/dl)	FIB f (mg/dl)	Glu ayu (mg/dl)	Gluc i (mg/dl)	Glu f (mg/dl)
$\bar{X}$	37.9	63.85	1.62	24.27	12.25
DE	9.49	10.06	0.07	1.98	3.25
EEM	3.16	3.35	0.02	0.594	1.20

FIB i = Fibrinógeno inicial, FIB f = Fibrinógeno al final del maratón, Glu ayu = Glucosa en ayuno, Glu i = Glucosa inicial, Glu f Glucosa final.

**Cuadro VII.** Cambios en los lípidos séricos producidos por el Maratón (n = 10)

	CT ayu (mg/dl)	CT i (mg/dl)	CT f (mg/dl)	TG ayu (mg/dl)	TG i (mg/dl)	TG f (mg/dl)
$\bar{X}$	170.8	182.1	183.0	84.4	160.2	83.8
DE	20.54	27.2	32.8	51.56	68.68	24.0
EEM	6.85	9.24	10.93	17.19	22.89	8.0

	C-LAD ayu (mg/dl)	C-LAD i (mg/dl)	C-LAD f (mg/dl)	C-LBD ayu (mg/dl)	C-LBD i (mg/dl)	C-LBF f (mg/dl)
$\bar{X}$	55.30	57.15	58.85	100.0	101.85	174.3
DE	9.12	10.48	8.05	8.82	9.10	46.70
EEM	3.04	3.49	2.68	2.94	3.03	15.57

ayu = en ayuno, i = inicial, f = al final del maratón; CT = Colesterol total, TG = Triglicéridos, C-LAD = Colesterol de lipoproteínas de alta densidad, C-LBD = lipoproteínas de baja densidad.

**Cuadro VIII.** Cambios enzimáticos producidos por el Maratón en los participantes (n = 10)

	DHL i (U/l)	CK i (U/l)	TGO i (U/l)	DHL f (U/l)	CK f (U/l)	TGO f (U/l)
$\bar{X}$	76.3	191.8	33.4	109.4	465.3	51.0
DE	12.24	99.28	4.82	12.98	254.14	9.31
EEM	4.08	33.09	1.61	4.33	84.71	3.10

i = inicial, f = al final del Maratón; DHL = Deshidrogenasa láctica, CK = creatinincinasa, TGO = Transaminasa glutámico oxalacética.

ción de líquidos y sugerido por diferentes investigadores<sup>(11)</sup>, tiene como propósitos favorecer la adecuada reposición de líquidos, preservar el glucógeno corporal y proporcionar hidratos de carbono extras en el periodo de vaciamiento de glucógeno, el cual generalmente ocurre después de 1.5 horas de ejercicio físico continuo.

El tiempo entre la llegada y la colección de variables fisiológicas, frecuencia cardíaca, presión arterial, temperatura oral, y peso corporal fue no mayor de 5 minutos. Los participantes se mudaron de vestimenta por ropa seca y se pesaron de nueva cuenta con calzoncillo y camiseta deportivos. De inmediato, adoptaron la posición sedente por 10 minutos adicionales para obtener nueva muestra hemática venosa, y repetir las determinaciones del estudio.

A partir de todas las muestras hemáticas se procesaron las variables en estudio con los siguientes procedimientos: la CH se efectuó en contador celular electrónico; el Fib fue medido por refractometría óptica; la Gluc por el método de glucosa oxidasa; las enzimas fueron determinadas por el método enzimático cinético que incluye reacción reductiva del NADH en espectrofotometría de multicanal. Todas las series enzimáticas se efectuaron por duplicado, las mediciones restantes fueron monitorizadas contra estándares patrón. Se utilizaron controles de niveles bajo, normal y alto, como prueba de consistencia externa y linealidad. Los lípidos se determinaron por técnica enzimática en auto analizador. El C-LAD y C-LBD se analizaron posterior a la precipitación de otras fracciones<sup>(16-19)</sup>. A partir de los cambios en hematócrito (Hto) y hemoglobina (Hb), se estimaron los cambios en el volumen plasmático (VP)<sup>(16-21)</sup> inducidos por postura y el ejercicio físico.

Los coeficientes de variación intraensayo fueron de 1.2%, 3.3%, 1.8% y 2% para CT, TG, C-LAD y C-LBD, respectivamente. Además se efectuaron pruebas de consistencia externa contra sueros control. Se fijó un coeficiente máximo de variación de 5%.

En las diferentes tomas de muestras sanguíneas se consideró el efecto potencial de la postura, que como se ha informado por nuestro grupo en otras investigaciones<sup>(21,22)</sup>, influye en las concentraciones séricas de los analitos. Las de-

terminaciones se realizaron posterior a su transporte óptimo a un laboratorio de la ciudad, el cual está registrado en el Programa Nacional de Control Externo de Calidad, PECEL.

Se efectuaron procedimientos de estadística descriptiva (media, desviación estándar, error estándar de la media e intervalos de confianza). Los cambios inducidos en las variables hemáticas por las maniobras experimentales de postura corporal y ejercicio físico máximo se analizaron con análisis de variancia de 1 vía con pruebas *post hoc* de Tukey y Newman Keuls en todas las F's significativas. Los cambios en el volumen plasmático y su influencia sobre las variables analizadas se estudiaron bajo el modelo de correlación cruzada. El análisis multivariado se efectuó con el modelo de análisis de covariancia, utilizando como candidatos regresores las covariables de edad, nivel de acondicionamiento físico (tiempo en 10 km) y cambios en el volumen plasmático. En todos los casos el nivel de significancia estadística se fijó a  $p < 0.05$ . Los resultados se analizaron en el programa de cómputo Estadística V1994.

## Resultados

Los participantes fueron adultos jóvenes con edad en promedio de 37.9 años. Fueron individuos sin sobrepeso, a juzgar por su porcentaje de grasa corporal e índice de masa corporal observados (12.25% y 24.27 kg/m<sup>2</sup> respectivamente). Existió diferencia de 6 minutos para el promedio del grupo entre esta predicción y el tiempo utilizado en cubrir la distancia de los 42 km con 195 m. El cuadro III ilustra las características cardiovasculares de presión arterial y frecuencia cardíaca al principio y al final del Maratón. Los valores se consideraron normales en todos los participantes.

Los cambios en las variables de la CH se aprecian en el cuadro IV. Se observó aumento en los eritrocitos, Hb, Hto, volumen globular medio, la hemoglobina corpuscular media y en la concentración media de hemoglobina ( $p < 0.05$ ). Las plaquetas aumentaron 14.2% ( $p < 0.05$ ). El cuadro V muestra los cambios inducidos por el Maratón en la fórmula blanca. Se apreció incremento significativo en los leucocitos totales a expensas de neutrofilia, con disminuciones significativas en las contribuciones relativas de linfocitos, y monocitos, eosinófilos y basófilos ( $p < 0.05$ ). Por su parte la edad presentó correlación de  $r = -0.61$  ( $p < 0.05$ ), con los leucocitos, apoyando el hecho de que con la edad existe disminución en la actividad del sistema inmune (Figura 1).

Los cambios producidos por el ejercicio en el fibrinógeno se señalan en el cuadro VI. Existió aumento significativo del fibrinógeno (10.7%), y correlación  $r = 0.64$  ( $p > 0.05$ ) con las variaciones del hematocrito (Figura 2).

La glucemia se modificó con la maniobra alimenticia implementada (la ingesta de fruta previa al Maratón). Al final del Maratón existió aumento adicional de 13% ( $p < 0.05$ )

y  $r = 0.87$  ( $p < 0.05$ ) en su interacción con el nivel de desempeño en la prueba previa de 10 km (Figura 3).

Los TG se elevaron, producto de la ingesta de alimentos (89.8%) mientras que el C-LAD y el C-LBD no sufrieron modificaciones apreciables. Al finalizar el Maratón, las concentraciones de triglicéridos disminuyeron significativamente (47%,  $p < 0.05$ ) (Cuadro VII).

En el cuadro VIII se indican los valores en las enzimas estudiadas. Todas ellas presentaron incremento significativo, presentando la CK el aumento más importante (142%).

## Discusión

Los resultados de la presente investigación permiten la identificación de incrementos significativos en algunas variables hemáticas selectas indicadoras del incremento en el metabolismo, producidos por el Maratón en una población como la nuestra. Las respuestas son similares a las descritas en la literatura. La caracterización de estos cambios permite establecer lineamientos para la práctica segura y efectiva de ejercicio en población abierta como lo son los ejercitantes con fines recreativos expuestos a ejercicio de gran demanda física como el Maratón, de cuya información existe gran carencia en nuestro país.

La diferencia de peso entre el inicio y el final del Maratón fue de 2.8 kg menor en promedio, estimando reposición promedio de líquidos de 1.8 litros en los participantes. Las indicaciones en la reposición de líquidos fueron bien llevadas y toleradas por los participantes. Los resultados concuerdan con otros descritos<sup>(11,23-25)</sup>. La reposición adecuada de líquidos garantiza óptimo desempeño deportivo programado y evita situaciones conflictivas como el colapso por ejercicio<sup>(7-9)</sup>.

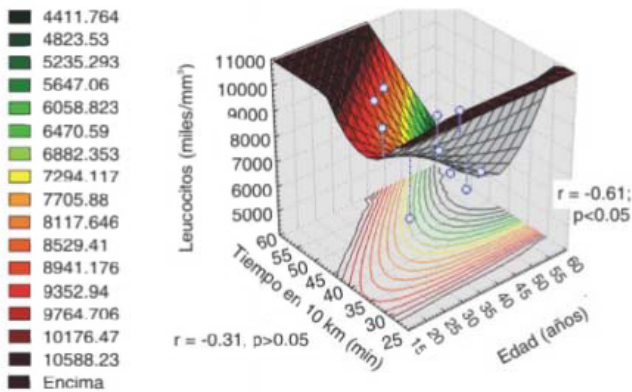
Los cambios en la fórmula eritrocitaria observados al final del Maratón, concuerda con lo descrito en la literatura. El aumento en todas las variables estudiadas, que oscilaron en 0.8% para eritrocitos y 3.9% para la hemoglobina corpuscular media, son debidas al fenómeno de hemoconcentración producido por la pérdida de volumen plasmático por sudoración, que se aprecia en diferentes estados de deshidratación<sup>(20)</sup>. La magnitud del incremento se encontró dentro de las cifras esperadas para eventos como el Maratón<sup>(1,3,11-12)</sup>, sin desconocer que en estados de colapso la hemoconcentración es mayor<sup>(2,4,7,9,10)</sup>. La estimación sobre el volumen plasmático perdido durante el evento fue 8%.

Los glóbulos blancos aumentaron significativamente de 7.5 a  $18.71 \times 10^3/\text{mm}^3$ , cambio que coincide con lo informado por Nieman *et al*<sup>(26)</sup>, aunque en ese trabajo la cuenta leucocitaria total fue de  $14 \times 10^3/\text{mm}^3$ . Las diferencias observadas por estos autores y nuestros datos, se pueden explicar por la naturaleza de los corredores de nuestro estudio, porque en el trabajo citado los corredores fueron corredores experimenta-

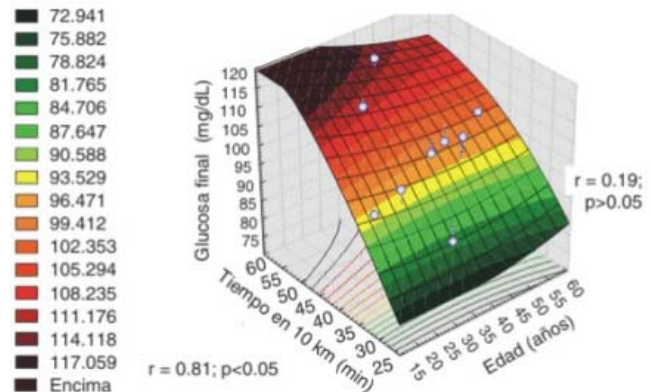
dos que corrieron durante 3 horas a 70% del  $\text{VO}_2$  max. En nuestro estudio, estimamos que los corredores trabajaron al 80% de su máxima capacidad aeróbica, lo que sugiere que el incremento de los leucocitos se encuentra relacionado con la intensidad y duración del ejercicio. Aunque no se hicieron estudios de seguimiento en los días posteriores al evento, se conoce que la cuenta leucocitaria disminuye progresivamente, retornando a la normalidad en las siguientes 24 horas posteriores al evento<sup>(26-27)</sup>. En el estudio efectuado por Berk<sup>(27)</sup>, se identificó reducción en la actividad de las células “*natural killer*”, en las siguientes 24 horas después de cada evento deportivo extenuante, encontrándose a 40% de su actividad a las 1.5 horas después de efectuar actividad física prolongada. Estos hechos indican que la violenta respuesta leucocitaria se produce como mecanismo para aumentar la respuesta inmunológica ante la depresión temporal del sistema inmune. El incremento en los glóbulos blancos fue a expensas de los neutrófilos, los que se incrementaron de 51 a 84%, con reducción relativa de las otras líneas celulares (linfocitos de 39 a 10%, y monocitos, basófilos y eosinófilos de 10 a 6%) (Cuadro V). Los resultados son consistentes con los encontrados en otros estudios<sup>(28,29)</sup> realizados en condiciones ambientales diferentes y en ejercicio físico submáximo. Las respuestas leucocitarias agudas son mediadas fundamentalmente por el cortisol<sup>(26)</sup>. En la figura 1 se destaca la influencia que tuvo el nivel de desempeño en la carrera de 10 km y la edad sobre los niveles de glóbulos blancos ( $r = 0.31$ ;  $p > 0.05$  y  $r = 0.61$ ;  $p < 0.05$ ). Aunque el desempeño en esa distancia de medio fondo no fue significativo, sí marca tendencia a presentar mayores valores de leucocitos en los individuos con mejor desempeño físico.

El FIB, considerado un factor de riesgo cardiovascular cuando se encuentra elevado, y más cuando se asocia a hipertensión. Aumentó significativamente (10.7%) como consecuencia del Maratón. Al efectuar adecuada interpretación de los cambios del fibrinógeno durante el ejercicio, deberán considerarse el fenómeno físico de la hemoconcentración (Figura 2). Aun así, ésta es respuesta esperada, porque el traumatismo mecánico producido por el golpeteo de los pies, produce la activación de los factores procoagulantes de la sangre. Sería interesante en futuras investigaciones cuantificar los productos de degradación de la fibrina como los dímeros D del fibrinógeno, indicadores de desequilibrios en el sistema fibrinolítico de la coagulación y asociarlos a la intensidad y duración del ejercicio practicado, así como la concentración de calcio sérico por el primordial papel que desempeña en la cascada de la coagulación.

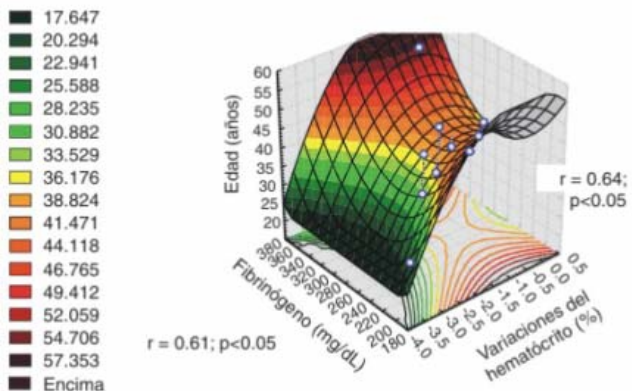
Las concentraciones de glucosa sanguínea se elevaron en 21% a los 90 minutos de haber ingerido una colación enriquecida con hidratos de carbono complejos y 13.5% al final del Maratón. Los aumentos son los esperados y reflejan la condición fisiológica que presenta el deportista previo al Ma-



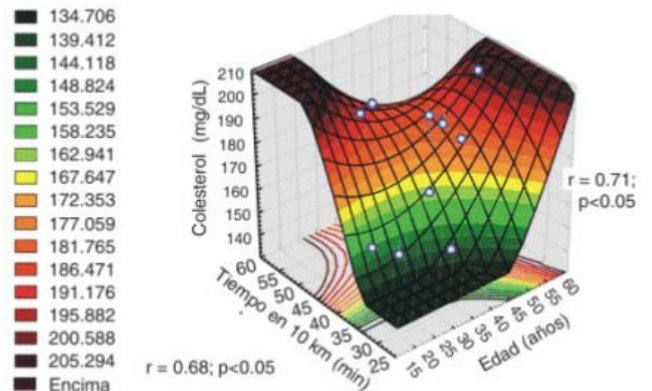
**Figura 1.** Análisis multivariado de la interacción entre leucocitos, tiempo en 10 km y edad en maratonistas de nivel intermedio.



**Figura 3.** Interrelaciones entre los niveles de glucosa al final del maratón, la edad, y el tiempo en 10 km.

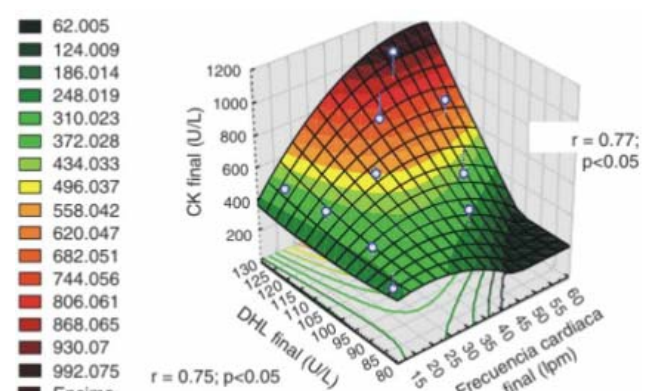


**Figura 2.** Influencia interactiva de la edad y las variaciones del hematócrito producidas por el maratón con nivel de fibrinógeno sérico.



**Figura 4.** Influencia de la edad y tiempo usado en los 10 km sobre el colesterol sérico.

ratón, en la figura 3 se observan sus interacciones con el desempeño en la prueba de 10 km y la edad. Los niveles de glucosa al finalizar un Maratón son variables, dependen del metabolismo de la insulina y glucosa, entrenamiento físico previo, alimentación y edad entre otros factores, pues mientras algunos autores encuentran disminución de la glucosa, otros no encuentran cambios<sup>(30-32)</sup>, e incluso algunos reportan aumento<sup>(32,33)</sup>. Basados en un estudio de análisis de factores múltiples, concluimos que las condiciones que influyen en los niveles séricos de glucosa al finalizar eventos deportivos de larga duración son: el tipo de alimentación, el nivel de acondicionamiento físico, la capacidad genética para el almacenamiento de glucógeno, la reposición de líquidos, el tipo de líquidos ingeridos, y la forma final de concluir el evento del Maratón. Este hecho se ejemplifica con el tramo de aceleración antes de alcanzar la meta, lo que favorece



**Figura 5.** Interacciones entre la frecuencia cardíaca encontrada al final del maratón y las concentraciones séricas de CK y DHL.

aumento en la producción de glucosa por gluconeogénesis debido a la liberación de hormonas como la adrenalina y el cortisol<sup>(30,34)</sup>. Estos factores también se han ponderado por otros autores<sup>(33)</sup>. En el caso de los participantes en el presente estudio, los valores mayores encontrados al final del Maratón, indican el adecuado estado de disposición periférica de glucosa, lo que garantiza el aporte adecuado a las células activas del organismo.

Los lípidos séricos se incrementaron significativamente por efecto del posprandio con oscilaciones desde 6.6% para el CT a 89.8% para los TG. La influencia de la edad y el tiempo utilizado en la prueba basal de 10 km sobre el CT se demuestra en la Figura 4. Las lipoproteínas no se modificaron significativamente con el posprandio (Cuadro VII). Al término del Maratón, existió pequeña variación en el CT y las C-LAD, e incremento significativo en la fracción C-LBD (71%), que se interpretó como respuesta al estrés generado por el ejercicio. A su vez los niveles de TG disminuyeron 47%. Los resultados son esperados y consistentes con lo descrito en la literatura<sup>(32-36)</sup>.

Algunos autores<sup>(35,36)</sup>, estiman un gasto de energía de 9,000 a 12,000 kJ al correr el Maratón, de los cuales los combustibles disponibles fueron básicamente los hidratos de carbono y los lípidos. Las fuentes endógenas parecen ser más eficientes que las exógenas, estimaciones efectuadas previamente en el Maratón de León<sup>(37)</sup>, corroboran estos conceptos. Consecuentemente, los cambios observados en los lípidos séricos, fueron producto de cambios metabólicos para enfrentar las demandas que el Maratón impuso dadas las condiciones ambientales observadas. Los hallazgos también indican el riesgo cardiovascular relativo que caracteriza al corredor típico de medio y gran fondo de nuestro país, por lo que se deberá enfatizar en aspectos preventivos sobre la vigilancia de los lípidos séricos a través de hábitos prudentes y positivos de vida y alimentación.

Las enzimas analizadas: DHL, CK, y TGO aumentaron 43.3, 142.5 y 52.6% respectivamente. Como se esperaba, la CK es marcador sensible de la destrucción muscular por el mecanismo traumático; fue la enzima que mayor incremento tuvo. Se conoce que entre 24 y 72 horas posteriores al ejercicio sus concentraciones se incrementan significativamente<sup>(1,3,12,14,33)</sup>, encontrándose en ese período cifras aún más altas. El grado de destrucción celular determina los valores finales. En esto influyen condiciones de la mecánica de carrera, del terreno, del calzado deportivo utilizado, de las condiciones ambientales y del nivel de preparación previo al Maratón. Resalta el hecho de que la CK resultó el mejor indicador del esfuerzo realizado, porque fue el que presentó la mayor variación con respecto a las otras enzimas analizadas, especialmente con la DHL, con quien tuvo correlación significativa, lo mismo que con la frecuencia cardiaca final, según se puede apreciar en el análisis cuadrático de la figura 5.

El colesterol sérico fue seleccionado como indicador del metabolismo de los lípidos séricos, porque ha sido el elemento más estudiado y el que se asocia inequívocamente con riesgo cardiovascular. En nuestra casuística se encontró asociación positiva, fuerte y significativa con la edad ( $r = 0.71$ ;  $p < 0.05$ ) y el tiempo usado en recorrer los 10 km ( $r = 0.68$ ;  $p < 0.05$ ), por lo que esta variable deberá considerarse especialmente en la calificación del riesgo cardiovascular en personas decididas a correr un Maratón (Figura 4).

La CK, presentó estrecha correlación con la DHL ( $r = 0.094$ ;  $p < 0.05$ ) y con la frecuencia cardiaca ( $r = 0.77$ ;  $p < 0.05$ ), lo que ratifica la gran utilidad de esta enzima como marcador bioquímico de la intensidad del esfuerzo efectuado en eventos atléticos de esta magnitud.

Nosotros concluimos, incluso con lo pequeño de la muestra (10 sujetos sanos), y en concordancia con lo reportado en otros estudios, que existen cambios significativos en las respuestas fisiológicas al ejercicio físico extenuante, influidos por las demandas metabólicas del ejercicio y reducciones en el volumen plasmático circulante. Estos cambios son atenuados por medidas tales como la reposición de líquidos durante el ejercicio y el contenido de la alimentación previo al evento deportivo. Así mismo, la edad y el nivel de acondicionamiento físico son factores que influyen en el riesgo para competir deportivamente (Figuras 1 a 5), por lo que deberá considerarse en la orientación médica que reciba el ejercitante de naturaleza recreativa.

## Referencias

1. Maron MB, Horvarth SW. The marathon: a review. *Med Sci Sports* 1978;10:137-150.
2. Wyndham CH. Heat strokes and hyperthermia in marathon runners. *Ann New York Acad Sci* 1977;301:128-139.
3. Sjodin B, Svedenhag J. Applied physiology marathon running. *Sports Med* 1985;2:83-99.
4. Hanson PG. Exertional heatstroke in novice runners. *JAMA* 1979;242:154-157.
5. Franklin BA, Blair SN, Haskell WL, Thompson PD, Van Camp SP. Exercise and cardiac complications. Do the benefits outweigh the risks? *Phys Sports Med* 1994;22:56-68.
6. ACSM: position papers of the American College of Sports Medicine. 3<sup>rd</sup> ed. Philadelphia, PA, USA: ACSM; 1985.pp:1-44.
7. Hanson PG. Heat injury in runners. *Phys Sports Med* 1979;7:91-96.
8. Noble HB, Bachman D. Medical aspects of distance race. *Phys Sports Med* 1979;7:78-84.
9. Hubbard RW, Armstrong LE. Hyperthermia: new thoughts on an old problem. *Phys Sports Med* 1989;17:97-113.
10. Roberts WO. Exercise-associated collapse in endurance events: a classification system. *Phys Sports Med* 1989;17:49-55.
11. Sparling PB, Nieman DC, O'Connor M. Selected scientific aspects of marathon racing. *Sports Med* 1993;15:116-132.
12. Milvy P. The marathon: physiological, medical, epidemiological and psychological studies. *Ann New York Acad Sci* 1977;301:1-1090.
13. Jackson AS, Pollock ML. Practical assessment of body composition. *Phys Sports Med* 1985;13:76-90.



14. Astrand PO, Rodhal K. Textbook of work physiology. 2<sup>nd</sup> ed. New York, NY, USA Academic Press;1978.
15. Díaz FJ, Rivera AE, López MG, García MR, López H. Efectos de un programa de ejercicio aeróbico y dieta sobre la composición corporal y función cardiovascular en obesos. Arch Inst Cardiol Mex 1986;56:527-533.
16. Watson D. A simple method for the determination of serum cholesterol. Clin Chem Acta 1960;5:637-643.
17. Wahlefeld AU, Bergmeyer B. Methoden der enzymatischen analyse. Edited by Chem Univ Manual Series Vol. II. 3<sup>rd</sup> ed Munchen, Mn Germany 1974;1878.
18. López-Virella MF, Stonese P, Ellis SH, Colwell T. Cholesterol determination in high-density lipoproteins separated by three different methods. Clin Chem 1977;23:882-884.
19. Friedewald WT, Levy RI, Frederickson DS. Estimation of the concentration of low density lipoproteins separated by three different methods. Clin Chem 1972;23:499-509.
20. Dill DB, Costill DL. Calculations of percentage changes in volumes of blood, plasma and red cells in dehydration. J Appl Physiol 1974;37:247-248.
21. Rivera AE, Díaz FJ, Guerrero H, García MR, Negrete MC, Mendiola C. Efecto de la postura corporal sobre la concentración de los lípidos séricos. Arch Inst Cardiol Mex 1989;59:29-34.
22. Díaz FJ, Rivera AE, García MR, Sotelo F. Plasma volume changes related to posture and mode of maximal exercise (abstract 110). Med Sci Sports Exerc 1993;25:s20.
23. Coggan AR, Coyle EF. Carbohydrate ingestion during prolonged exercise: effects on metabolism and performance. Exercise Sports Sciences Rev 1991;19:1-40.
24. Costill DL, Kammer WF, Fisher A. Fluid ingestion during distance running. Arch Environmen Health 1970;21:520-525.
25. Gisolfi CV, Duchman SM. Guidelines for optimal replacement beverages for different athletic events. Med Sci Sports Exerc 1992;24:679-684.
26. Nieman DC, Berk LS, Simpson-Westerberg W, Arabatzis K, Younberg W. Effects of long endurance running on immune system parameters and lymphocyte function in experienced marathoners. Int J Sports Med 1989;10:317-323.
27. Berk LS, Nieman DC, Youngber WS, Arabatzis T, Simpson-Westberg W, et al. The effect of long endurance running on natural killer cells in marathoners. Med Sci Sports Exerc 1990;22:207-212.
28. McLane LA, Rivera AE, López H, et al. Efecto del ejercicio físico prolongado (maratón), sobre volumen plasmático, glóbulos blancos y electrolitos séricos. Memorias del Congreso Nacional de Ciencias Fisiológicas de México, 1985;XXVIII:126.
29. Cortés JM, García MR, Sotelo F, et al. Dinámica de las células sanguíneas en mujeres sometidas a ejercicio físico submáximo. Memorias del Congreso Nacional de Ciencias Fisiológicas 1989;XXXII:C-40.
30. Cruz M, Velasco E, Kumate J. Señales intracelulares que intervienen en el control de la glucosa. Gac Med Mex 2001;137(2):135-146.
31. Reaven GM, Reaven EP. Effect of age on various aspects of glucose metabolism. Mol Cell Biochem 1980;31:851-885.
32. Richards D, Richard R, Schofield PJ, Ross V. Biochemical and haematological changes in Sydney's the Sun City-to-Surf for Runners. Med J Aust 1979;3:449-453.
33. Maron MB, Horvarth SM, Wilkerson JE. Acute blood biochemical alterations in response to marathon running. Eur J Appl Physiol 1975;15:173-180.
34. Rivera AE, Díaz FJ, López H, et al. Efecto del ejercicio físico máximo sobre los niveles de glucosa y lactato sanguíneo en sujetos físicamente activos y sedentarios. Memorias del Congreso Nacional de Ciencias Fisiológicas de México 1985;XXVIII:128.
35. Costill DL. Physiology of marathon running. JAMA 1972;221:1024-1029.
36. Newsholme EA. Control of metabolism and the integration of fuel supply for the marathon runner. In: Knutgen L, Vogel P, Poortmans R Editors. Biochemistry of exercise. Champaign, IL, USA: Human Kinetics Publishers;1983,pp:40-48.
37. Márquez S, Rivera AE, López H, et al. Requerimientos energéticos de cuatro corredores compitiendo en una prueba de Maratón a altitud moderada. Memorias del Congreso Nacional de Ciencias Fisiológicas de México 1985;XXVIII:128.