

## FRECUENCIA CARDIACA, CONSUMO DE OXIGENO Y EJERCICIO

Javier Padilla Pérez\*  
Ma. Cristina Eguita Lis\*  
Jacinto Licea Mendoza\*\*

### INTRODUCCION

No existe procedimiento práctico que permita evaluar la capacidad biológica total para realizar ejercicio físico (actividad que se hace con fines recreativos, deportivos o terapéuticos) no obstante que cada sistema corporal juega papel significativo en la capacidad biológica genéticamente determinada que se desarrolla o perfecciona mediante el entrenamiento. Dichos sistemas corporales se estudian con profundidad pero de manera relativamente aislada, y el problema surge cuando se trata de determinar el funcionamiento integrado al biosistema a que pertenece. Esto es análogo a lo que sucede con la neurona, pues lo que se sabe de ella no ha permitido explicar la forma en que el cerebro funciona. Sin embargo, los fundamentos pueden ayudar a identificar variables significativas, por ejemplo: el sistema nervioso gobierna todos los sistemas corporales, y los músculos esqueléticos son sus "esclavos"; pero desde el cerebro hasta estos músculos hay interacciones, entre otros, con los sistemas endocrino, hemático, respiratorio y cardiovascular, que hacen casi imposible pasar por alto la contribución que cada sistema corporal tiene en la capacidad, respuesta y adap-

tación al ejercicio. Afortunadamente las variables fisiológicas, frecuencia cardiaca (FC) y consumo de oxígeno ( $\dot{V}O_2$ ), han sido identificadas por investigadores,<sup>1-14</sup> y constituyen parámetros confiables y prácticos para dichos propósitos.

El  $\dot{V}O_2$  es vital para todo ser humano, y aunque los músculos esqueléticos son facultativos (aerobio y anaerobio) ya que pueden caer en deudas láctica o aláctica de oxígeno según se acompañe o no de ácido láctico, los procesos bioquímicos anaerobios permiten realizar más trabajo en ausencia de oxígeno cuya deficiencia habrá que pagar. Esta situación no puede sostenerse por mucho tiempo, sobre todo porque se generan modificaciones fisicoquímicas (cambios de pH, temperatura corporal, desproporción entre oferta y demanda energética y otros) además de que el cerebro y el corazón no pueden vivir en hipoxia más de un minuto. De cualquier manera, el  $O_2$  es indispensable en la oxidación biológica de sustratos combustibles para obtener energía y realizar trabajo; conforme éste aumenta, el primero también. Ello ocurre debido a que una vez que el  $O_2$  es captado a nivel pulmonar, la sangre lo transporta a los tejidos corporales gracias al bombeo del corazón.

El  $\dot{V}O_2$  es individual, la cantidad de  $O_2$  que una persona consume depende, en principio, de lo que la sangre pueda transportar y la cantidad de ésta que el corazón logre bombear por minuto; es decir, el gasto cardiaco, y resulta del producto de la frecuencia por el volumen sistólico (VS); además de esto el  $\dot{V}O_2$  también

---

\* Sección de Graduados de la Escuela Superior de Medicina del IPN, y Becarios de la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas del IPN (COFAA).

\*\* Centro Médico Deportivo de la Escuela Superior de Medicina del IPN.

depende de la oferta y demanda de  $O_2$  a nivel tisular (diferencia arteriovenosa de oxígeno,  $aO_2 - \bar{v}O_2$ ). De aquí:

$$\dot{V}O_2 = FC \times VS \times (aO_2 - \bar{v}O_2)$$

#### HIPOTESIS

Se espera que la estimación del consumo máximo de oxígeno sea un parámetro significativo del grado de capacidad físicodeportiva.

#### MATERIAL Y METODO

Se trabajó con los siguientes grupos: siete atletas del sexo femenino de la especialidad de medio fondo y fondo, con edad entre 19 y 23 años; cuatro de la especialidad de caminata de 10 km, con edad entre 17 y 23 años; diez mujeres sedentarias entre 16 y 26 años de edad; diez hombres sedentarios de 16 a 26 años de edad, y cuatro atletas de la especialidad de caminata de 10 km, con edad de 18 a 20 años. En todos los casos se realizó historia médicocodeportiva para descartar estados o influencias que interfirieran con el estudio.

En todos los casos el consumo máximo de oxígeno se estimó mediante una prueba de esfuerzo en bicicleta ergométrica electrónica con el método de Åstrand, que consistió en asignar cargas de trabajo ( $kpm^*/min$ ) donde la FC estuviera comprendida en el rango de 120 a 170 latidos por minuto hasta alcanzar un estado estable dentro de los primeros seis minutos de trabajo, la diferencia de la FC del último minuto menos el penúltimo no fue mayor de cinco latidos. En seguida se procedió a estimar el consumo máximo de  $O_2$  (l/min) en el nomograma de Åstrand a partir de la FC para la carga de trabajo lograda; se corrigió para la edad en cada caso y finalmente, el  $\dot{V}O_2$  máx absoluto (l/min) se multiplicó por mil para dividirlo entre el peso corporal total (kg) y obtener el  $\dot{V}O_2$  máx relativo a este último (ml/kg/min).<sup>16</sup>

\*kpm = fuerza que actúa sobre la masa de un kg a la aceleración normal de la gravedad.

#### RESULTADOS

Se muestran en las figuras 1, 2, 3, 4 y 5.

#### DISCUSION

Se sabe que cada uno de estos componentes tiene un valor máximo (por ejemplo  $\dot{V}O_2$  máx,  $FC$  máx y  $GC$  máx) cuando el trabajo también lo es. El  $\dot{V}O_2$  permite tener energía química en forma de trifosfato de adenosina (ATP) que los músculos emplean para realizar la contracción, generar energía mecánica y calor. En el laboratorio se puede medir el  $\dot{V}O_2$  absoluto (l/min) que parece estar genéticamente determinado, pues cambia poco con el entrenamiento, a diferencia del  $\dot{V}O_2$  relativo que se considera repartido en relación al peso corporal total (ml/kg/min) y aumenta con el entrenamiento hasta alcanzar un máximo (Fig. 1).

La  $FC$  máx es el mayor número de latidos cardiacos que se puede lograr durante esfuerzo máximo sin comprometer el gasto cardiaco. Durante dicho esfuerzo, al alcanzar el  $\dot{V}O_2$  máx, el cociente respiratorio ( $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ ) es mayor de uno debido a que se presenta un cambio del metabolismo energético de aerobio a anaerobio y el  $\dot{V}O_2$  no aumenta más. Por otro lado, la  $FC$  máx depende de la edad cronológica ( $FC$  máx = 220 — edad en años) pero ésta y la  $FC$  de reposo disminuyen con el entrenamiento, lo cual puede apreciarse sobre todo en mediofondistas y fondistas cuyo corazón es más grande, puede bombear más sangre por latido y aun es capaz de disminuir su frecuencia durante el ejercicio o trabajo y con mayor razón en estado de reposo (Figs. 2 y 3).

Cada quien posee sus rangos de  $FC$  y  $\dot{V}O_2$  máximos, cuyos valores son individuales, y como la  $FC$  puede medirse con relativa facilidad a la vez que, conociendo la carga de trabajo, es posible calcularla indirectamente, este parámetro resulta útil y práctico para el atleta, el entrenador e incluso para el investigador en la asignación de la intensidad y duración del ejercicio.

De lo dicho se desprende que la capacidad físicodeportiva es también individual, mejora con el entrenamiento y puede ser estudiada,

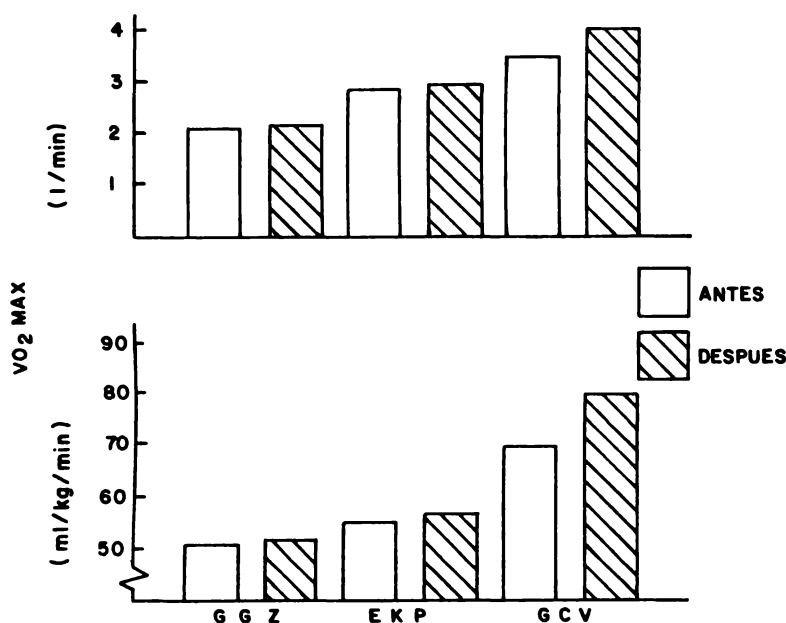


Fig. 1. Estimación del consumo máximo de oxígeno ( $\dot{V}O_2$  máx) en tres atletas maratonistas (mujeres) antes y después de un programa de entrenamiento de maratón. Obsérvese que los cambios son más ostensibles en el  $\dot{V}O_2$  máx relativo al peso corporal (ml/kg/min).

FUENTE: Padilla, J.P. y cols., 1984 (datos no publicados), Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional. J. Hernández J. y A. Márquez de la Mora, Comité Olímpico Mexicano.

en su fundamento desde los puntos de vista fisiológico y bioquímico mediante la FC y el  $\dot{V}O_2$ , este último permite "medir" la cantidad de energía total por minuto de que puede disponer una persona ( $\dot{V}O_2$  máx absoluto) o potencia aerobia máxima. La FC, por su relación estrecha con el  $\dot{V}O_2$  y porque puede medirse con facilidad (desde el método palpatorio hasta el electrónico), es altamente aplicable y práctica en el trabajo del atleta y el entrenador (Fig. 4). Por otro lado, si la FC máx y el  $\dot{V}O_2$  máx (absoluto y relativo) son individuales y juegan papel significativo en el diagnóstico de la capacidad fisicodeportiva y en el seguimiento de la adecuación para el ejercicio o deporte, es conveniente que toda persona, y especialmente el atleta, cuente con un estudio médicodeportivo y prueba de esfuerzo para determinar su potencia aerobia máxima, deuda de  $O_2$  (potencia anaerobia), respuesta

al esfuerzo mediante la FC y el  $\dot{V}O_2$  y analizar su capacidad para recuperarse (pagar las deudas de  $O_2$ ). Así, el equipo de medicina del deporte, entrenador, atleta y médico, entre otros, contarán con fundamentos científicos para adecuar, individualizar y seguir eficiente y oportunamente la adecuación fisicodeportiva (Fig. 5).

El ejercicio estimula el metabolismo, y su intensidad y duración resultan muy significativos para que el  $\dot{V}O_2$ , el GC y con ello la FC, alcancen valores máximos.

#### CONCLUSION

La estimación del consumo máximo de oxígeno y su aplicación mediante la frecuencia cardiaca, resultan altamente confiables para el entrenador, el investigador y el atleta. De ello

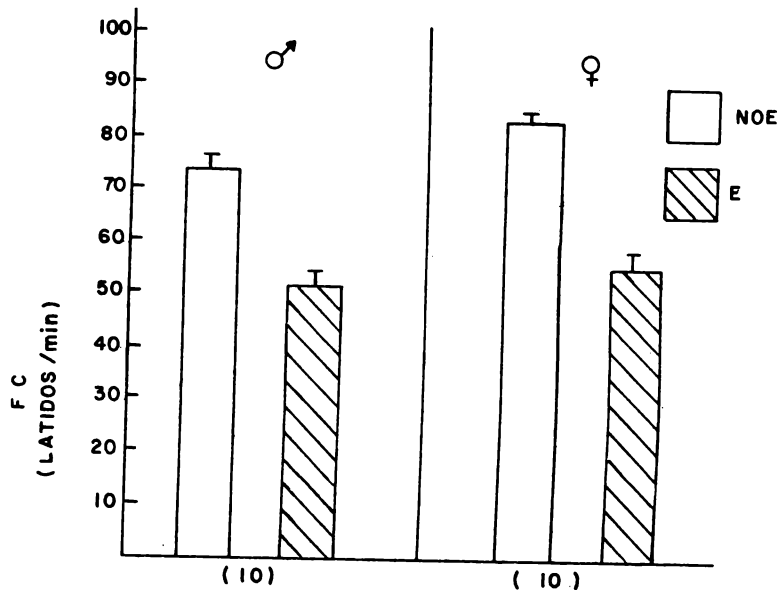


Fig. 2. Frecuencia cardiaca (FC) de reposo, cuantificada durante un minuto por método auscultatorio, en un grupo de hombres y otro de mujeres con edad entre 16-26 años, no entrenados (NOE) y entrenados (E), cada barra representa el valor promedio  $\pm$  el error estándar de la media de 10 personas. En todos los casos los E presentaron FC menor que los NOE ( $p < 0.05$ ) al aplicar la prueba  $t$  - independiente de Student, de 2 colas.

Fuente: Padilla, J.P. y cols., 1984 (datos no publicados), Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional. J. Hausleber, J. Hernández J. y A. Márquez de la Mora, Comité Olímpico Mexicano.

se desprende la necesidad de un equipo de trabajo de medicina del deporte para lograr el entrenamiento científico.

#### AGRADECIMIENTOS

En especial a las autoridades, entrenadores, atletas y personal de las instituciones: Comité Olímpico Mexicano, Confederación Deportiva Mexicana y Promoción Deportiva del Departamento del Distrito Federal, por las facilidades que nos brindaron para la realización de esta investigación en el área de medicina del deporte. Así también al Dr. Teodoro Bazán Sosa, Director de la ESM y de *Acta Médica*, por su apoyo entusiasta a este tipo de actividades académicas; al Ing. Miguel Angel Tenorio Trejo y al Dr. Francisco García Torres, por sus sugerencias para mejorar este artículo.

#### RESUMEN

Se demuestra la utilidad de conocer el consumo máximo de oxígeno ( $\dot{V}O_2$  máx) absoluto (l/min) y el relativo al peso corporal total (ml/kg/min), también la frecuencia cardiaca, ya que resultan parámetros prácticos para el atleta, el entrenador e incluso para el investigador en el área de medicina del deporte.

#### SUMMARY

The usefulness of the maximum oxygen consumption ( $\dot{V}O_2$  máx), absolute (l/min) and the relative to total body weight (ml/kg/min) is demonstrated, as well as the heart rate, in the sense that they result in practical parameters for the athlete, the trainer and inclusive the investigator in the area of sport medicine.

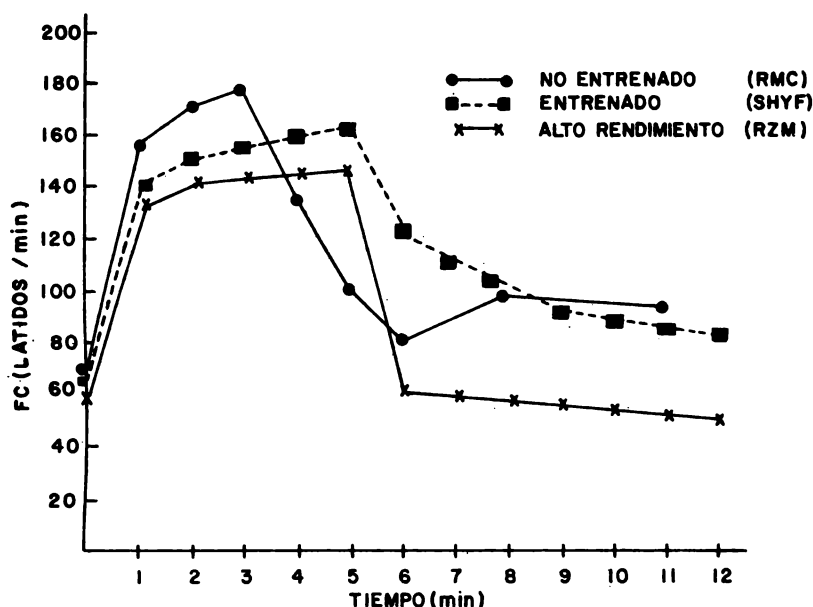


Fig. 3. Frecuencia cardiaca (FC) determinada electrónicamente en tres personas del sexo masculino que trabajaron 5 min en bicicleta ergométrica a 200 watts, excepto el no entrenado cuya FC fue mayor durante el trabajo ya que sólo resistió dicha carga por 3 min. Obsérvese que el de alto rendimiento alcanzó FC más bajas durante el esfuerzo y la recuperación respecto de los demás y que el entrenado ocupa una posición intermedia. Las curvas del  $\dot{V}O_2$  fueron también semejantes.

Fuente: Padilla, J.P. y cols., 1984 (datos no publicados), Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional. J. Hernández J. y E. Campos, Comité Olímpico Mexicano.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Åstrand, I y P.-O. Åstrand: "Aerobic work performance" *Environmental Stress, Individual Adaptations*, Eds. L.J. Falinsbee, Academic Press, New York, 1978: 149-163.
2. Gollnick, P.D., L. Hermansen y B. Saltin: "The Muscle Biopsy: Still a Research Tool", *The Physician and sportmedicine* 8 (1), 1980.
3. Gollnick, P.D., K. Piehl, J. Karlsson y B. Saltin: "Glycogen Depletion Patterns in Human Skeletal Muscle Fibers after Varying Intensities of Exercise", *Metabolic Adaptation to Prolonged Physical Exercise*, Eds. H. Howald y J.R. Poortmans, B. Veslag Basel, 1975: 416-421.
4. Åstrand, P.-O.: "Quantification of Exercise Capability and Evaluation of Physical Capacity in Man", *Prog. Card. Dis.* XIX(1), 1976: 51-67.
5. Åstrand, I., P.-O. Åstrand, I. Hallvack y A. Kilbom: "Reduction in maximal oxygen uptake with age", *J. App. Physiol. U.S.A.* 35(5), 1973: 649-654.
6. Gollnick, P.D., K. Piehl, C.W. Saubert IV, R.B. Armstrong y B. Saltin: "Diet, exercise, and glucogen changes in human muscle fibers", *J. App. Phys* 33 (4) 1972: 421-425.
7. Gollnick, P.D., K. Piehl y B. Saltin: "Selective Glycogen depletion pattern in human muscle fibers after exercise of varying intensities and at varying pedalling rates", *J. Physiol.* 241, 1974: 45-57.
8. Hultman, E.: "Studies on muscle metabolism of glycogen and active phosphate in man with special reference to exercise and diet", *Scand. J. Clin. y Lab. Invest.*, Estocolmo, 49 (19), 1967: 1-66.
9. Hultman, E., H. Sjöholm y L. Edstom: "Glycolytic and oxidative energy metabolism and contraction characteristics of intact human muscle". *1981 Human Muscle fatigue: Physiological mechanisms*; Pitman Medical, London 1982: 19-40.
10. Hermansen, L. E., E. Hultman y B. Saltin: "Muscle glycogen during prolonged severe exercise." *Acta Physiol. Scand.* 71, 1967: 129-139.
11. Saltin, B., G. Blwgvist, J.H. Mitchell, R.L. Johnson

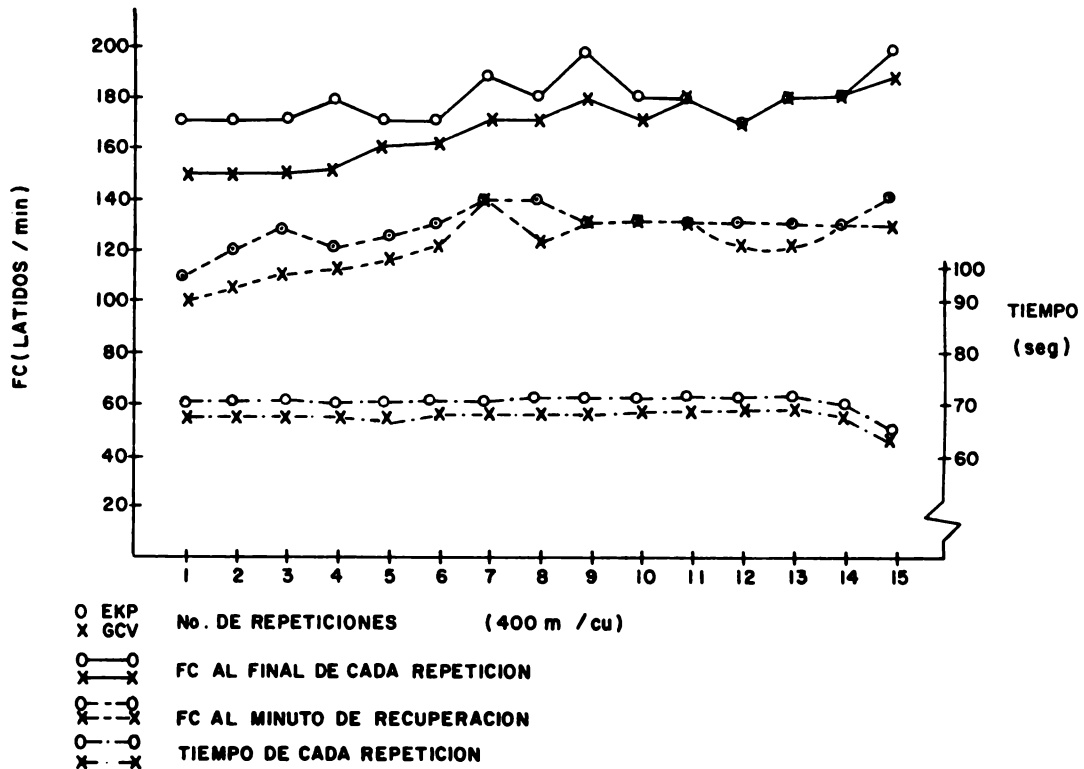


Fig. 4. Frecuencia cardiaca (FC) determinada mediante método palpatorio, tiempos a la llegada de cada repetición de 400 m en pista, y FC al minuto de recuperación de dos atletas de sexo femenino, 8 días antes de correr el II Maratón Internacional "Ciudad de México" 1984. Al término del maratón, GCV ocupó el 2o. lugar con 2 horas 58 min 39 seg y EKP el 6o. con 3 horas 36 min.

Fuente: Padilla, J.P. y cols., 1984 (datos no publicados), Escuela Superior de Medicina, Instituto Politécnico Nacional. J. Hausleber, J. Hernández J. y A. Márquez de la Mora, Comité Olímpico Mexicano.

- Jr., K. Wilddenthal y C.B. Chapman: "Response to exercise after bed rest and after training." *Circulation*, 38 (Suppl VII) (1), 1968: 1-78.
12. Karlsson, J.L., L.O. Nordesjö y B. Saltin: "Muscle lactate, ATP and CP Levels during exercise after physical training in man". *J. Appl. Physiol.*, 33, 1973: 199-203.
13. Davies, K.J.A., L. Packer y G.A. Brooks: "Exercise

bioenergetics following sprint training". *Arch. Biochem Biophys.*, 215, 1982: 260-265.

14. Bergström, J., L. Hermansen, E. Hultman y B. Saltin: "Diet, muscle glycogen, and physical performance", *Acta Physiol. Scand.*, 71, 1967: 172-179.
15. Åstrand, P.-O., K. Rodahl: *Textbook of Work Physiology*. McGraw-Hill Book Co., 1977: 454.
16. Åstrand, P.-O. *Work test with the bicycle ergometer*, Monark-crescent AB, Vorberg, Suecia.

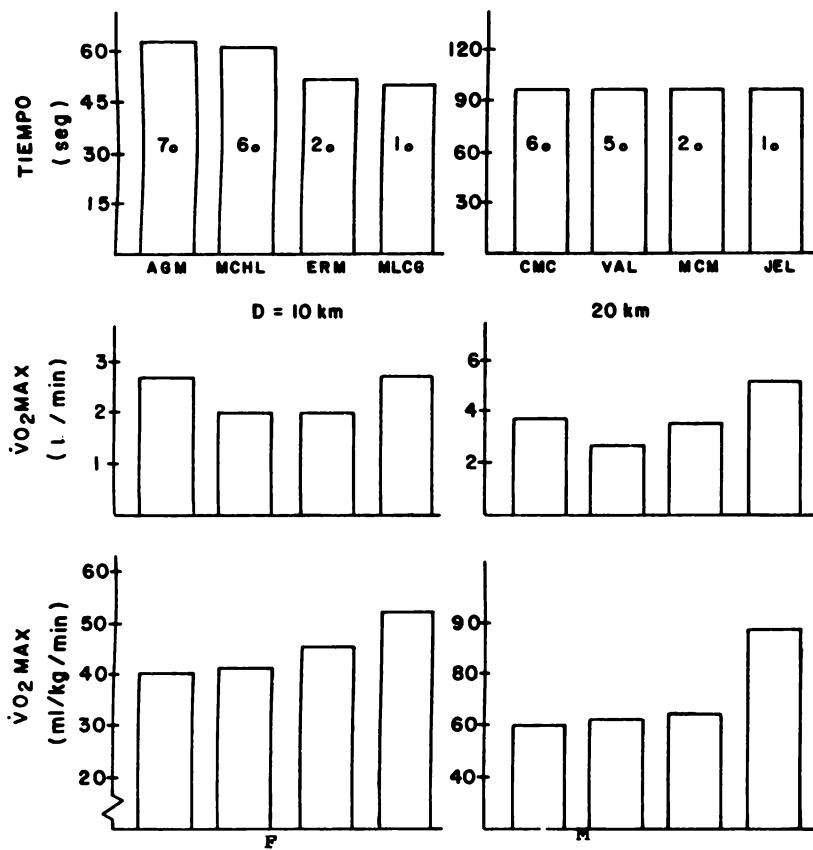


Fig. 5. Estimación del consumo máximo de oxígeno ( $\dot{V}O_2$  máx) en atletas de caminata, ramas femenil (F) y varonil (M), que compitieron en 10 km y 20 km, respectivamente, en pista asfáltica en septiembre de 1984. Nótese que los lugares logrados coinciden con mayor  $\dot{V}O_2$  relativo al peso corporal.

Fuente: Padilla, J.P. y cols., 1984 (datos no publicados), Escuela Superior de Medicina, Instituto Politécnico Nacional. J. Hausleber; J. Hernández J. y A. Márquez de la Mora, Comité Olímpico Mexicano.