

Mediciones del Costo Energético y Variables Cardiorrespiratorias en una Serie de Ejercicios Gimnásticos para Pacientes Coronarios

Dres.: ALBERTO F. LEVERONI, EDUARDO E. RHODIUS, GALO NARVÁEZ.
ADRIANA MIRONE, ADOLFO GUINLE, MARTA HERNÁNDEZ y CARLOS CHRISTIANSEN

RESUMEN

En 43 varones sedentarios, sanos, de una edad ($46,2 \pm 1,5$) donde la cardiopatía coronaria tiene alta incidencia, se midió a través de la determinación del consumo de oxígeno por el método de la bolsa de Douglas y por análisis electrónico y volumétrico de gases aspirados, el costo energético y diferentes variables cardiorrespiratorias de 13 ejercicios gimnásticos utilizados comúnmente en programas de rehabilitación para pacientes coronarios.

Se pudo clasificar a los ejercicios en cuanto a su intensidad expresada ésta a través del equivalente calórico (METS) y de las Kcal por hora y por kilogramo de peso utilizadas. Se obtuvo asimismo una relación lineal entre consumo de oxígeno y frecuencia cardíaca para todos los ejercicios estudiados.

Se muestra los valores de pulso de oxígeno, cociente de extracción de oxígeno y ventilometría de la serie examinada.

INTRODUCCION

Para la admisión de un programa de rehabilitación por el ejercicio de un paciente portador de enfermedad coronaria se siguen estrictas normas. Ellas incluyen: una respuesta relativamente asintomática durante un test ergométrico submáximo, ausencia de disnea con el ejercicio para una carga dada, una respuesta electrocardiográfica relativamente exenta de desplazamientos significativos del punto de unión R-ST o taquicardia ventricular paroxística y, fundamentalmente una mínima capacidad para el trabajo físico que represente un costo energético de por

lo menos cuatro a cinco veces el reposo (1). Sin embargo, la indicación de la intensidad y duración de los ejercicios gimnásticos se hacen en forma comúnmente arbitraria, teniendo fundamentalmente en cuenta la frecuencia cardíaca alcanzada durante los mismos.

Desde la publicación del clásico trabajo de Passmore y Durnin (2) se conoce el costo energético de la mayoría de las actividades de la vida cotidiana. Posteriores publicaciones (3, 11) señalan la demanda metabólica de la marcha y la carrera, incluyendo fórmulas y nomogramas para su cálculo, de acuerdo a la velocidad, inclinación de la pista ergométrica y peso del sujeto.

No obstante, existen escasas referencias del costo metabólico de los ejercicios más comúnmente utilizados en planes de rehabilitación de coronarios.

El objeto de este trabajo fue medir dicho costo y evaluar las respuestas cardiorrespiratorias de una serie de ejercicios gimnásticos, de tal manera que sirviesen como parámetro indicativo del grado de actividad física a que puede ser sometido un sujeto portador de insuficiencia coronaria.

MATERIAL Y METODOS

Se estudiaron 43 sujetos sedentarios, varones, sanos, de $46,23 (\pm 1,53)$ años, cuyos demás datos antropométricos figuran en la tabla 1.

TABLA I

| | EDAD | PESO | TALLA |
|------------|-------|-------|--------|
| \bar{X} | 46.23 | 77.80 | 171.15 |
| $\bar{D}S$ | 10.03 | 3.84 | 6.52 |
| E.S | 1.53 | 1.07 | 4.13 |

Se seleccionaron 13 ejercicios gimnásticos de los más comúnmente utilizados en un programa de rehabilitación por el ejercicio (figura 1).

Para la marcha y el trote se utilizó una pista deslizante Tecnomedical a 3 y 4,5 Km/hora y a 0° de inclinación.

La determinación del costo energético de todos los ejercicios se hizo mediante la

medición directa del consumo de oxígeno (VO₂). Para su obtención en los ejercicios del 1° al 11° se utilizó el método de la bolsa de Douglas, recogiendo el gas espirado a través de una válvula de Rudolph, analizándose alicuotas de gas contenido en la bolsa, por duplicado, para O₂ y CO₂ según el procedimiento microvolumétrico de Haldane (12) modificado por Schoander (13).

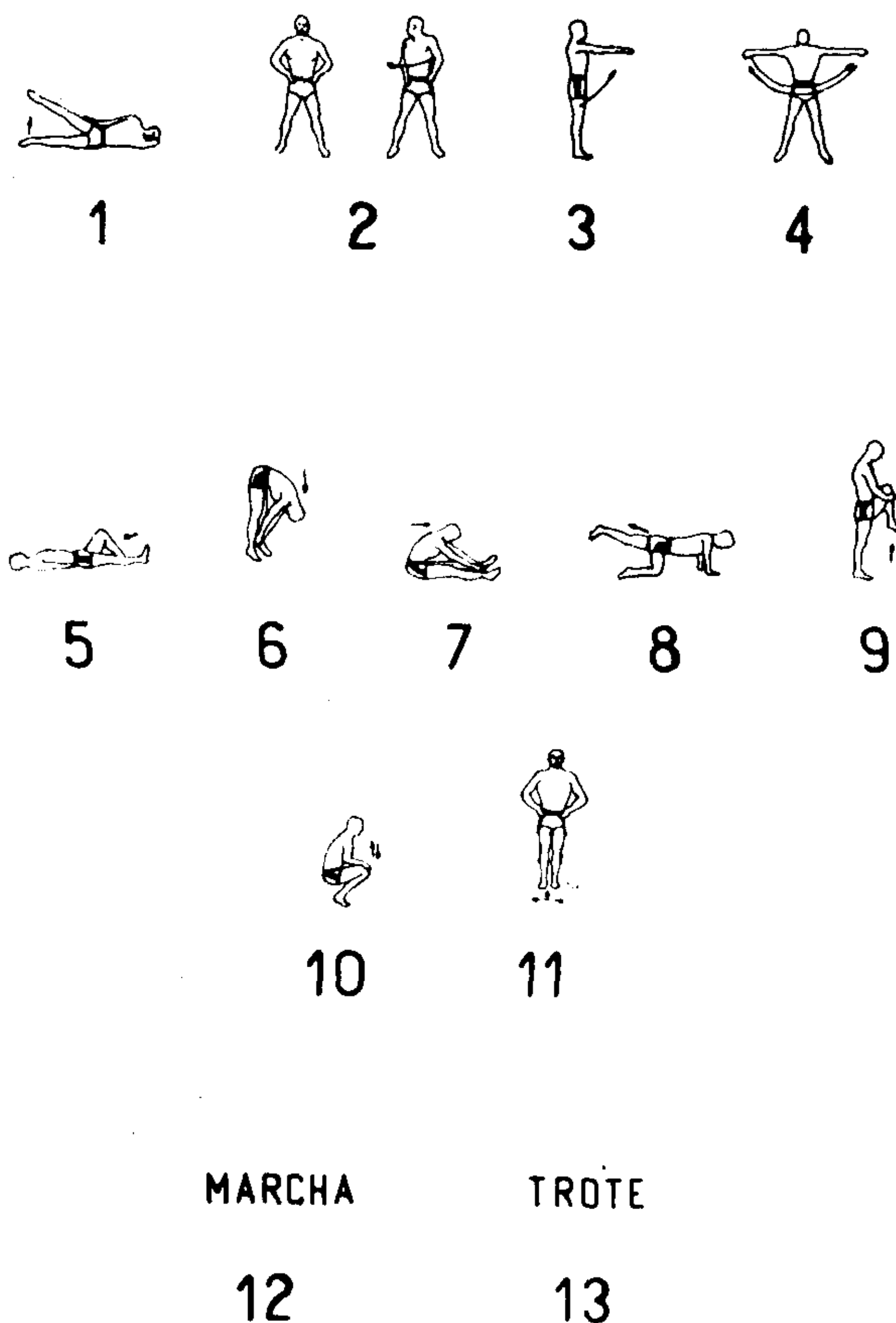


Figura 1

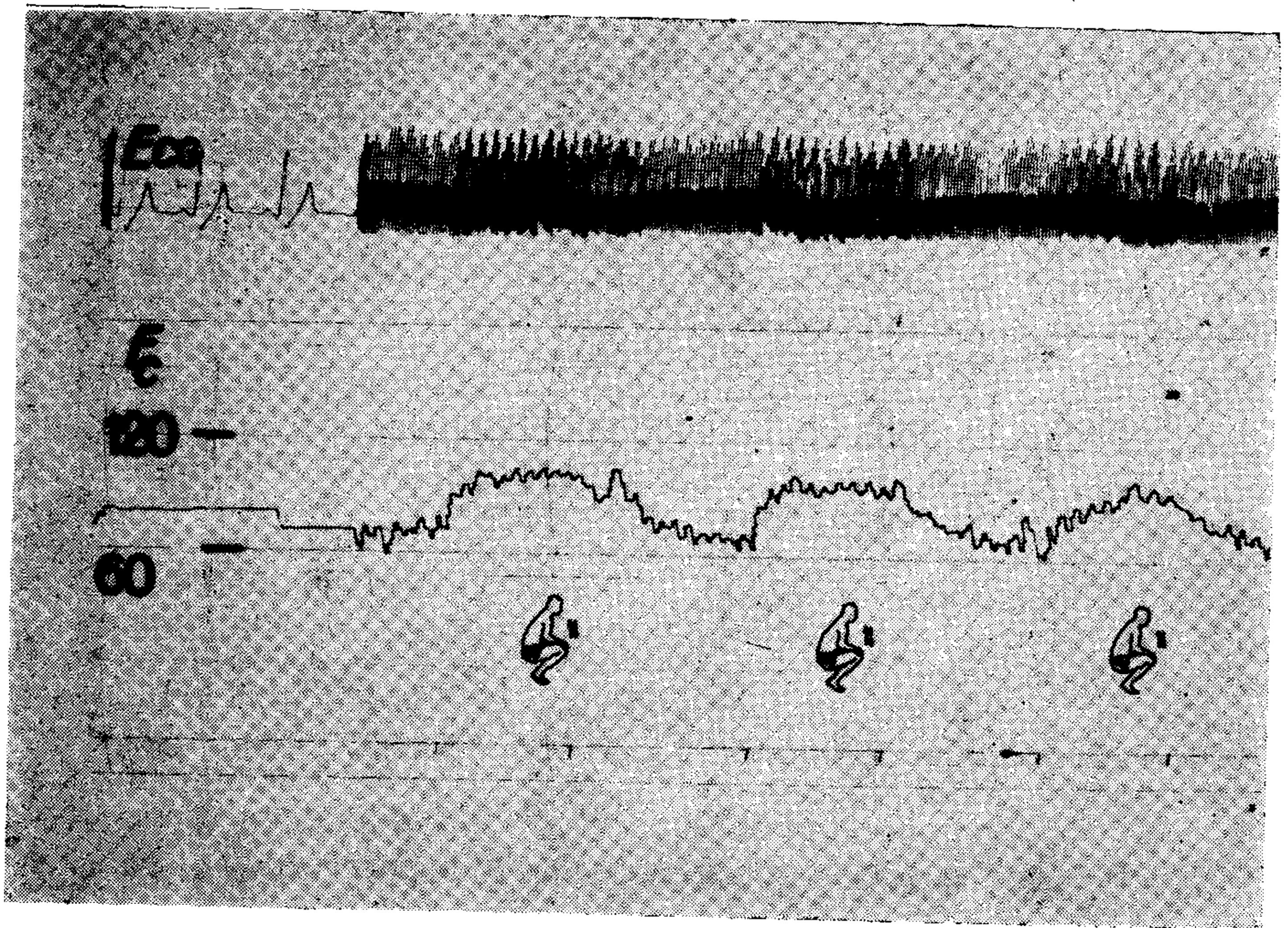


Figura 2

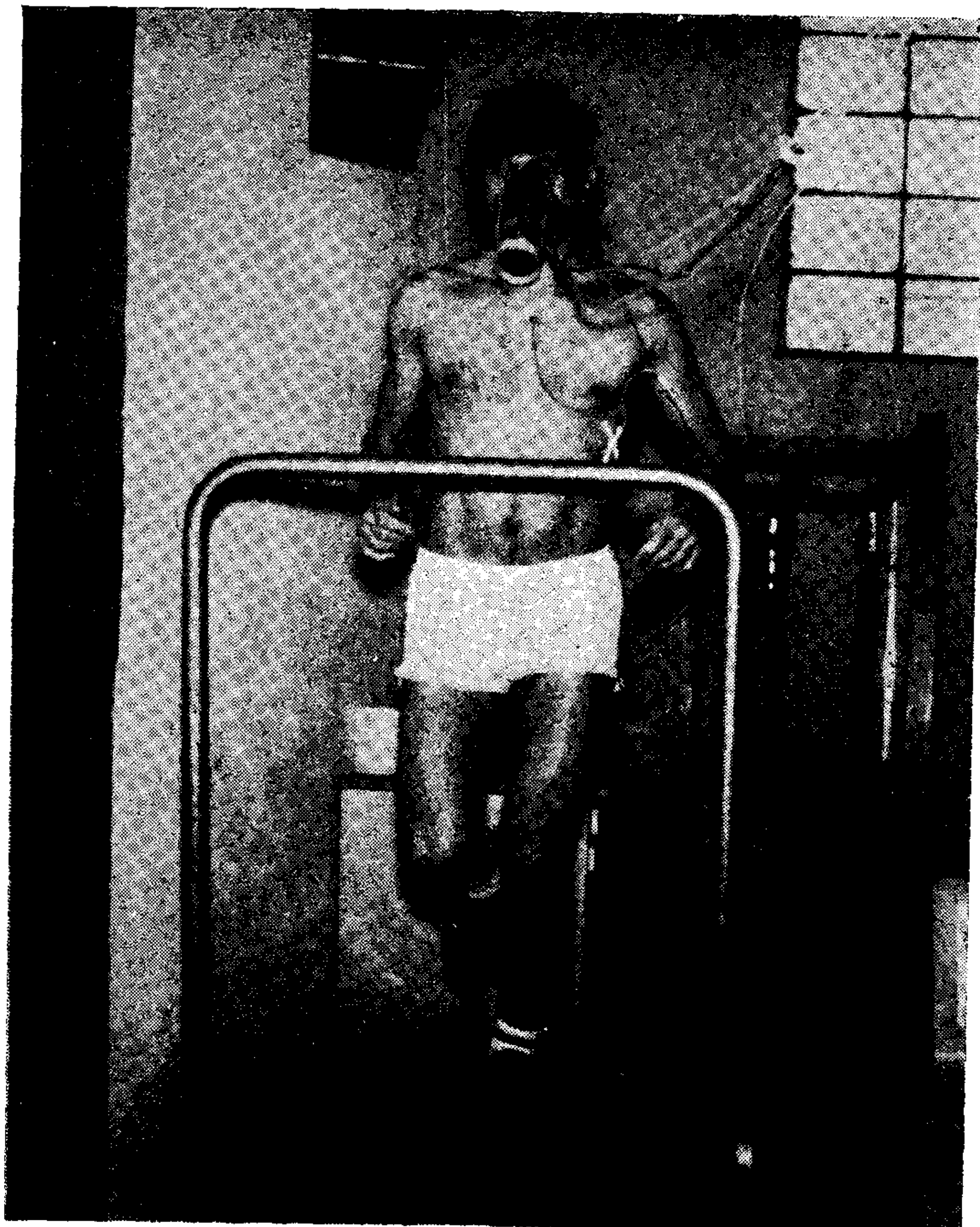


Figura 3

La ventilometría se realizó vaciando el contenido gaseoso de la bolsa de Douglas en un espirómetro de Tissot de 120 litros.

Los sujetos realizaron los diferentes movimientos de los ejercicios en períodos de 30 segundos, repitiéndose tantas veces como fuese necesario para alcanzar una frecuencia cardíaca promedio representativa para cada ejercicio. En aquellos ejercicios en los cuales el volumen total espirado fue insuficiente, los movimientos fueron repetidos un mayor número de veces hasta obtener una ventilación tal que minimizara el error de lectura volumétrica, por el espacio muerto de la válvula y el volumen residual de la bolsa de Douglas, introduciendo intervalos que permitiesen llegar al sujeto a su ventilometría y frecuencia cardíaca de reposo (figura 2).

Para la medición del VO_2 de los ejercicios 12 y 13 (marcha y trote) se utilizó un

circuito abierto continuo, empleándose un analizador paramagnético de oxígeno Beckman E-2 e infrarrojo para CO_2 Beckman LB-1. La ventilometría durante los mismos se efectuó mediante un neumotacómetro Fleish de respuesta lineal hasta 600 litros por minuto, con integración automática de volumen (figura 3). La lectura de los analizadores electrónicos fue controlada en forma sistemática mediante obtención de muestras de gas del analizador con tubos Barcroft, que fueron analizadas para su contenido en O_2 y CO_2 por el método volumétrico arriba mencionado. En la figura 4 se puede observar el esquema del circuito empleado, que incluye una cámara compensadora, desarrollada en este Laboratorio para evitar caídas de presión en el sistema, que pudiesen alterar la lectura.

Se totalizaron 122 determinaciones de consumo de oxígeno.

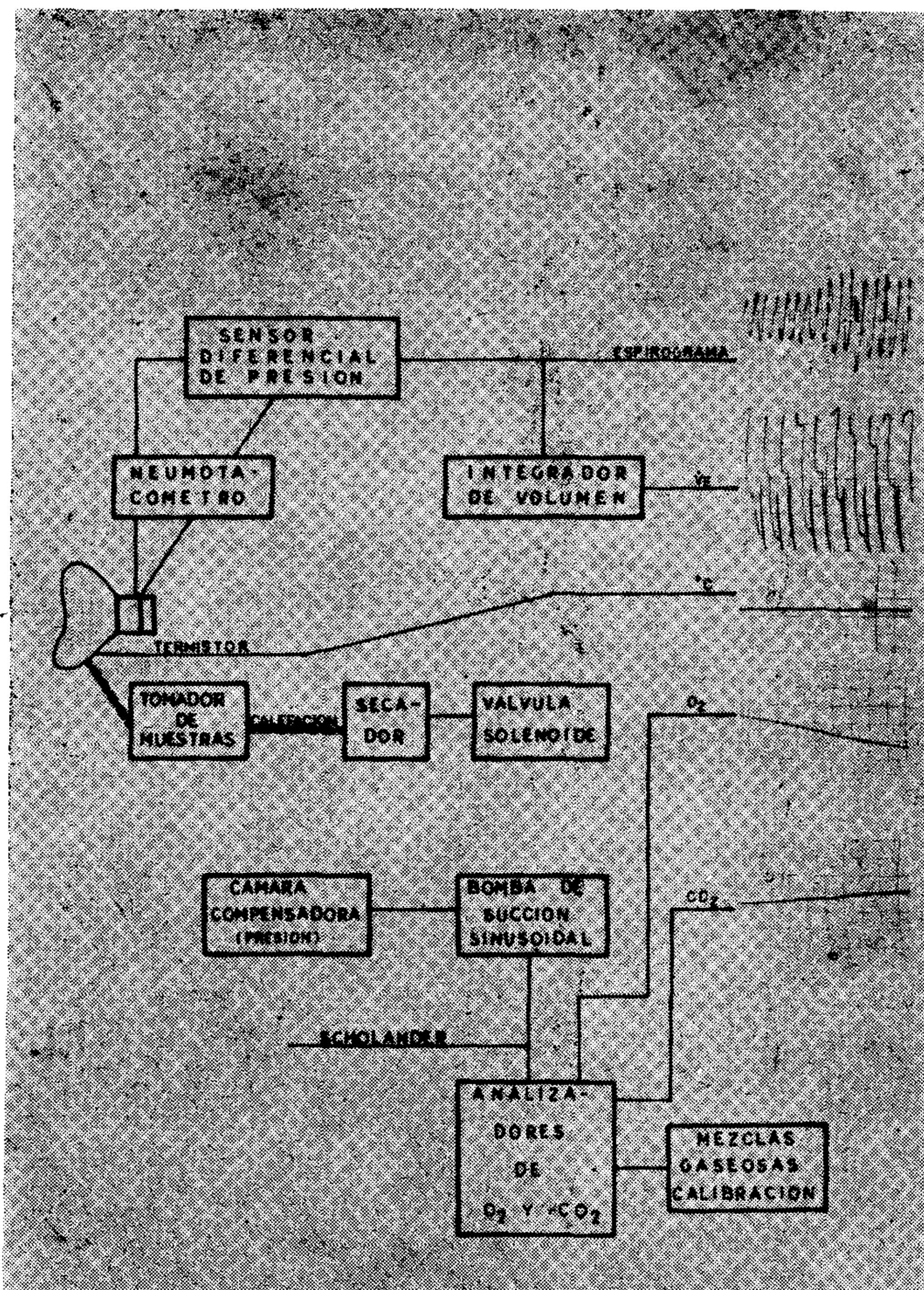


Figura 4

La frecuencia cardíaca (Fc) fue registrada simultáneamente a la ventilometría, utilizando para ello una derivación bipolar escapular V5 clásica con integración automática, en un polígrafo Beckman Type Dynograph.

Para calcular el gasto calórico de cada ejercicio se asumió un equivalente calórico por litro de oxígeno consumido, de acuerdo al cociente respiratorio promedio medido en el mismo, utilizándose las tablas de Benedict y Harris (14, 16).

El consumo de oxígeno es expresado en litros por minuto (VO_2 L/min) y en cm^3 por Kg peso corporal por minuto (VO_2 cm^3 /Kg/min), a STPD.

El costo energético es expresado en kilocalorías por hora por Kg de peso corporal (Kcal/h/Kg) y en unidades de equivalente metabólico o METS.

Además se calculó el pulso de oxígeno promedio para cada ejercicio y el cociente de extracción de oxígeno: REO_2 cm^3 /L (BTPS).

El volumen minuto respiratorio (VE) se expresa en BTPS.

Los resultados fueron analizados estadísticamente utilizando para ello una computa-

dora PDP/B Digital aplicándose el test de Student-Fischer para muestras independientes y los métodos estadísticos clásicos.

RESULTADOS

En la tabla 2 se exponen los valores de los diferentes parámetros medidos. El ordenamiento de los ejercicios fue hecho en grado creciente, de acuerdo a las kilocalorías que demandaba cada uno.

En la figura 5 se pueden observar graficados los valores de VO_2 L/min y cm^3 /Kg/min para toda la serie de ejercicios.

En las figuras 6 y 7 se grafican las Kcal/h/Kg y METS registrados en cada uno de los trece ejercicios.

En la figura 8 se observa la respuesta ventilométrica y el cociente de extracción de oxígeno de todo el programa.

En la figura 9 se aprecia la correlación entre el VO_2 (L/min) y la frecuencia cardíaca en los ejercicios. En la parte inferior de la misma se grafica el pulso de O_2 registrado.

Los ejercicios similares en sus valores de VO_2 fueron agrupados aplicando para ello un test de comparación de medias para

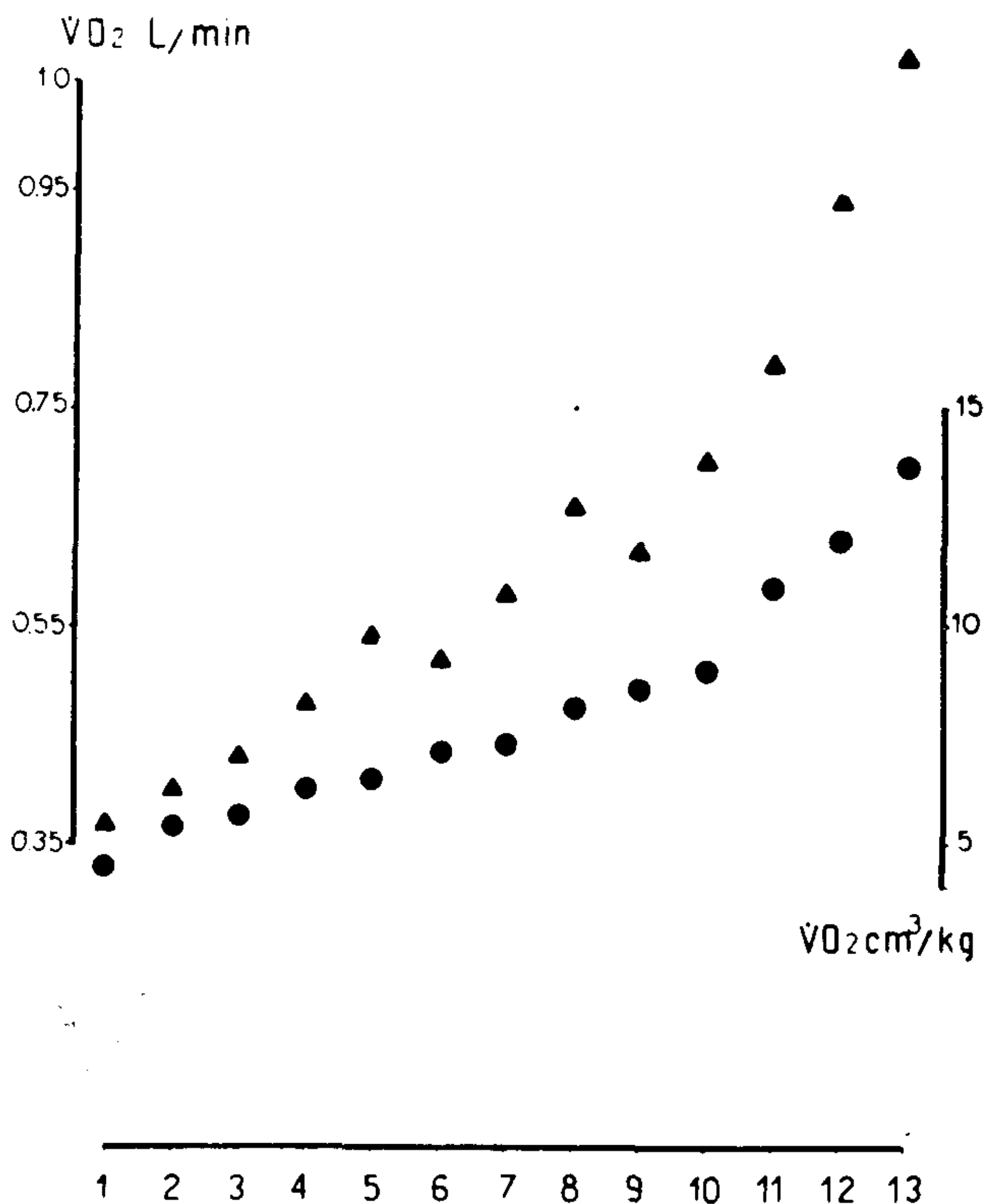


Figura 5

TABLA 2

| Nº | n | Peso X | FC | VE L/min BTSP | R | VO2 L/min | VO2 cm ³ / kg/min | Pulso O2 | REO2 cm ³ /L | Kcal/h/kg | METS |
|----|----|-----------------|----------------|------------------|----------------|---------------|---------------------------------|---------------|----------------------------|-----------|------|
| 1 | 7 | 82.15 ±3.53 | 97.9 ±14.2 | 12.94 ± 5.06 | 0.97 ±0.19 | 0.37 ±0.09 | 4.45 ±1.18 | 3.77 ±1.03 | 27.26 ±5.64 | 1.33 | 1.27 |
| 2 | 11 | 74.21 ±3.15 | 92.6 ±14.6 | 14.50 ± 6.11 | 0.83 ±0.14 | 0.40 ±0.10 | 5.39 ±1.20 | 4.45 ±1.36 | 29.64 ±7.77 | 1.56 | 1.54 |
| 3 | 10 | 76.38 ±3.43 | 87.2 ±11.6 | 14.27 ± 5.99 | 0.81 ±0.008 | 0.43 ±0.12 | 5.63 ±1.41 | 5.00 ±1.79 | 31.20 ±6.18 | 1.63 | 1.61 |
| 4 | 9 | 76.55 ±4.1 | 98.4 ±14.4 | 16.96 ± 8.66 | 0.81 ±0.111 | 0.48 ±0.14 | 6.27 ±2.00 | 4.94 ±1.37 | 31.20 ±7.78 | 1.81 | 1.79 |
| 5 | 8 | 84.5 ±3.47 | 99.6 ±11.1 | 17.99 ± 6.59 | 0.89 ±0.13 | 0.54 ±0.09 | 6.39 ±1.47 | 5.83 ±0.71 | 31.36 ±5.89 | 1.85 | 1.82 |
| 6 | 10 | 73.65 ±2.58 | 102.4 ±15.6 | 16.12 ± 6.12 | 0.81 ±0.12 | 0.52 ±0.14 | 7.06 ±1.86 | 5.24 ±1.66 | 33.94 ±6.20 | 2.08 | 2.02 |
| 7 | 9 | 80.22 ±4.21 | 112.2 ±10.1 | 21.05 ±11.26 | 0.96 ±0.12 | 0.58 ±0.19 | 7.23 ±2.66 | 5.18 ±1.63 | 29.44 ±4.41 | 2.17 | 2.07 |
| 8 | 6 | 81.58 ±2.92 | 108.2 ± 8.4 | 19.55 ± 6.25 | 0.82 ±0.08 | 0.66 ±0.15 | 8.09 ±2.43 | 6.06 ±1.03 | 34.16 ±6.84 | 2.33 | 2.31 |
| Nº | n | Peso x | FC | VE L/min BTSP | R | VO2 L/min | VO2 cm ³ / kg/min | Pulso O2 | REO2 cm ³ /L | Kcal/h/kg | METS |
| 9 | 11 | 73.11 ± 3.03 | 104.1 ± 8.0 | 17.93 ± 7.74 | 0.80 ±0.10 | 0.62 ±0.18 | 8.48 ±2.51 | 6.08 ±2.23 | 36.14 ±6.36 | 2.46 | 2.42 |
| 10 | 12 | 78.12 ± 3.37 | 112.9 ±14.5 | 22.6 ± 6.51 | 0.90 ±0.13 | 0.70 ±0.13 | 8.96 ±2.19 | 6.19 ±1.20 | 31.50 ±4.21 | 2.61 | 2.56 |
| 11 | 11 | 72.67 ± 2.96 | 122.6 ±13.6 | 25.07 ± 9.87 | 0.89 ±0.10 | 0.79 ±0.18 | 10.87 ±2.53 | 6.45 ±1.47 | 33.07 ±5.40 | 3.20 | 3.11 |
| 12 | 11 | 78.85 ± 3.29 | 116.2 ±15.7 | 24.00 ± 7.26 | 0.76 ±0.12 | 0.94 ±0.24 | 11.92 ±2.30 | 8.13 ±2.03 | 39.71 ±5.56 | 3.40 | 3.41 |
| 12 | 7 | 78.45 ± 4.81 | 137.1 ±11.9 | 29.08 ± 8.28 | 0.81 ±0.10 | 1.07 ±0.29 | 13.64 ±2.40 | 7.48 ±1.97 | 36.73 ±4.59 | 3.94 | 3.90 |

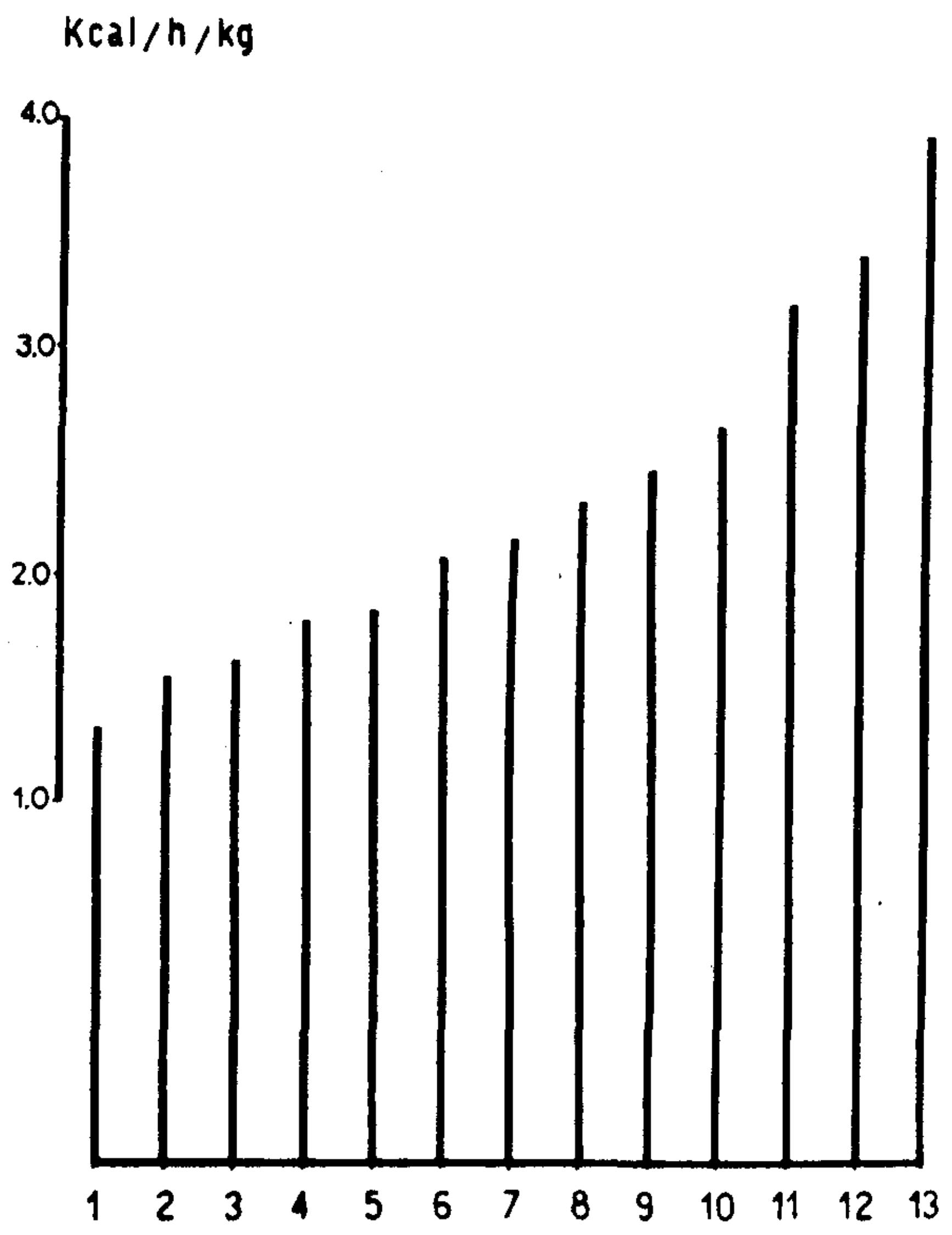


Figura 6

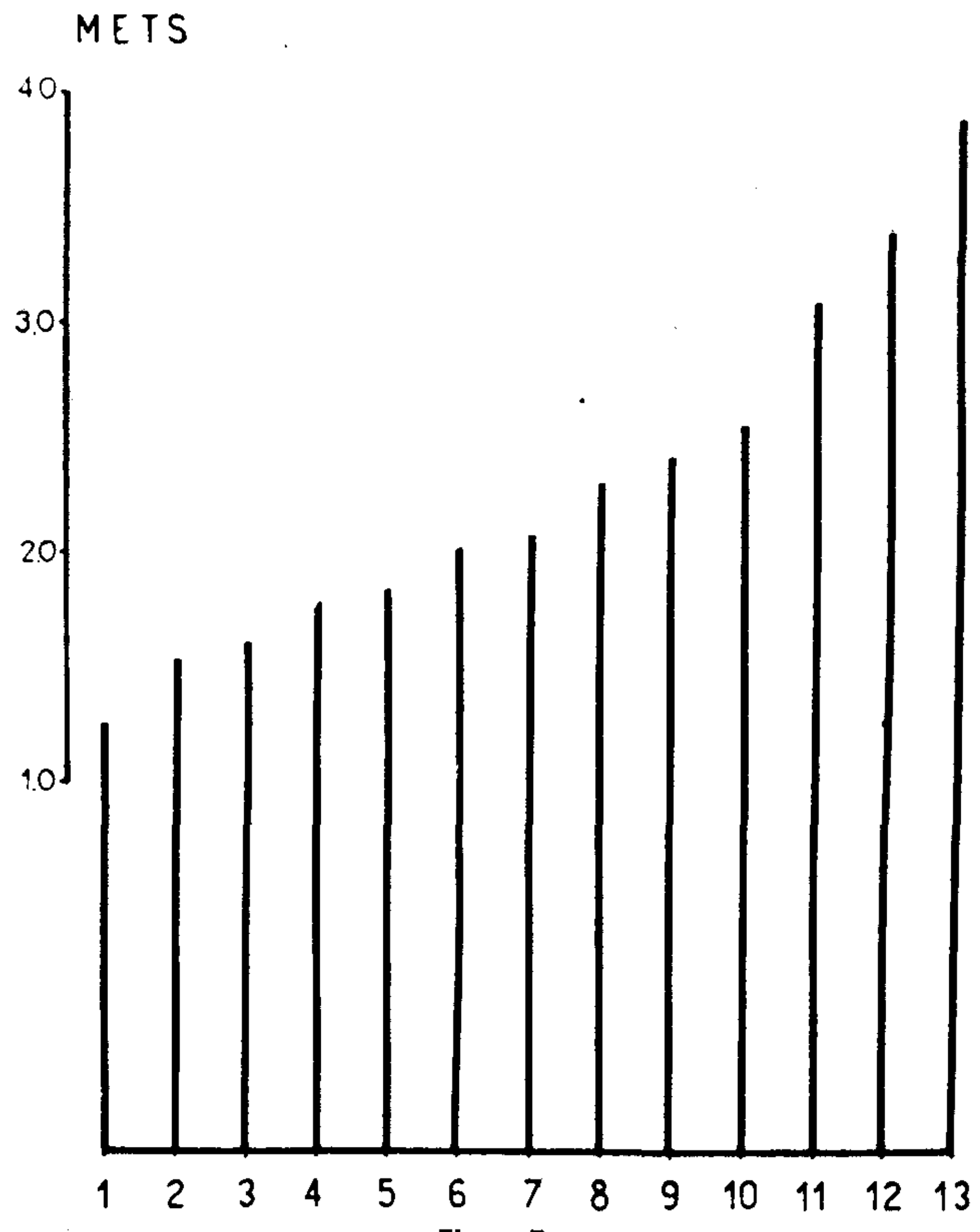


Figura 7

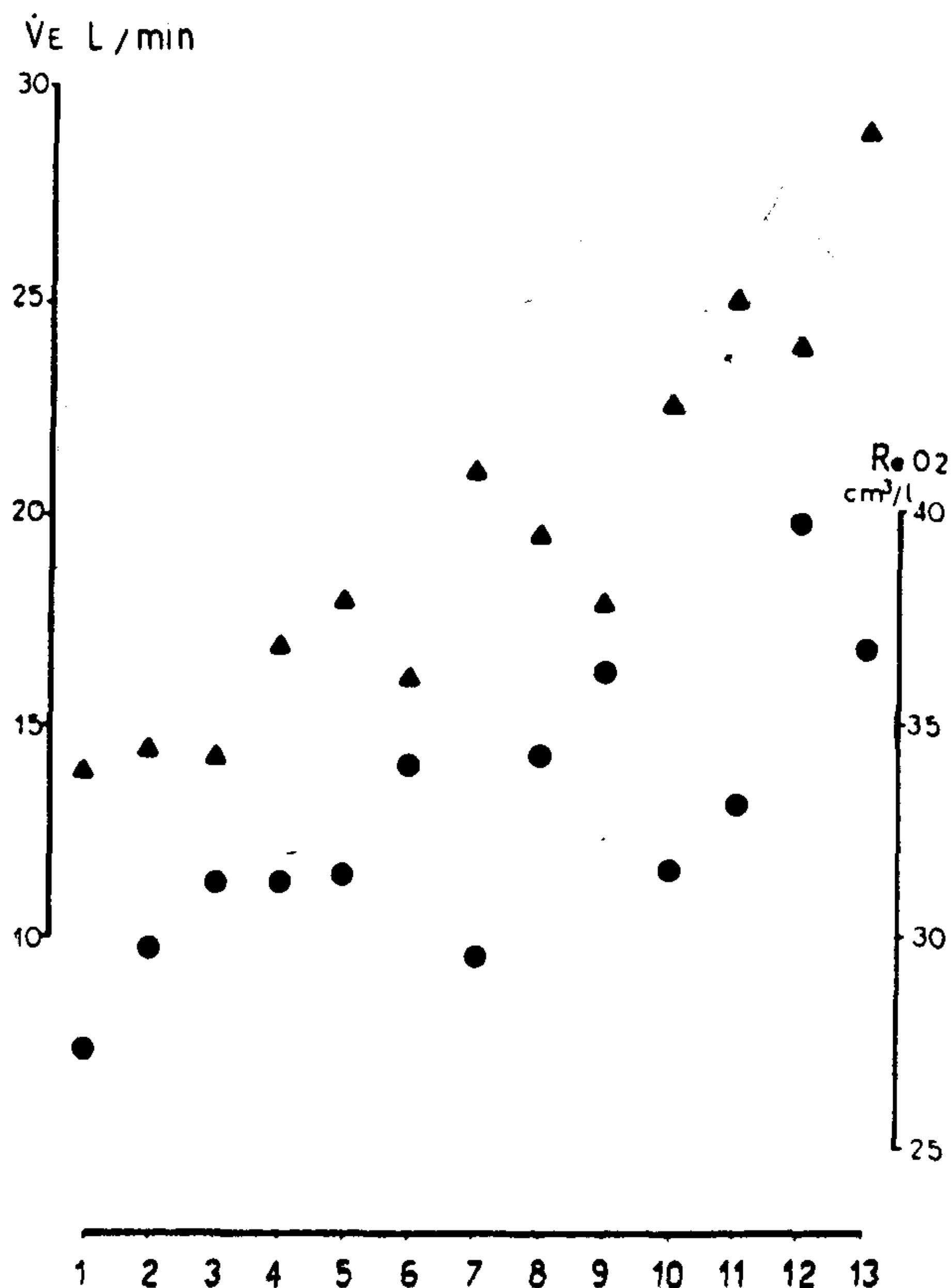


Figura 8

muestras independientes de Student, a una significación de $p < 0,05$. Los cuatro grupos obtenidos son los siguientes:

Grupo 1: 1 al 4

Grupo 2: 5 al 9

Grupo 3: 10 y 11

Grupo 4: 12 y 13

La dependencia del consumo de oxígeno con la frecuencia cardíaca se muestra en la recta de regresión para los trece ejercicios (figura 10).

El coeficiente de correlación positivo indica la tendencia a aumentar de la Fc y el VO₂ conjuntamente. Su valor r: .92 tiene una significación de $p < 0,001$.

DISCUSION

Para el diseño de los ejercicios de la serie estudiada se tomaron en cuenta sólo movimientos gimnásticos simples, conocidos desde la infancia o la adolescencia, de manera tal de no exigir a los sujetos un aprendizaje adicional para la correcta realización de los mismos.

Se estudió un grupo etario en el cual la cardiopatía coronaria tiene alta incidencia. (18).

La utilización de sujetos sedentarios y no coronarios se hizo teniendo en cuenta un consumo de oxígeno miocárdico, índice de tensión sistólica (ITT) y flujo coronario similar en sedentarios y coronarios a niveles bajos o moderados de trabajo, como en los ejercicios precedentemente estudiados, de acuerdo a otros autores (19). La población sedentaria seleccionada presenta la ventaja, además, de no estar bajo medicación con influencia cronotrópica que pudiera alterar la respuesta cardiovascular al ejercicio. Los ejercicios gimnásticos y en especial al caminar, individualmente prescritos con respecto a la intensidad, duración y frecuencia, pueden aumentar la eficiencia y la capacidad de esfuerzo físico en sedentarios y coronarios (20). Debido a que los pacientes portadores de insuficiencia coronaria tienen un riesgo inherente a la misma, la prescripción de ejercicios en cuanto a su intensidad adquiere especial importancia. Según Cureton

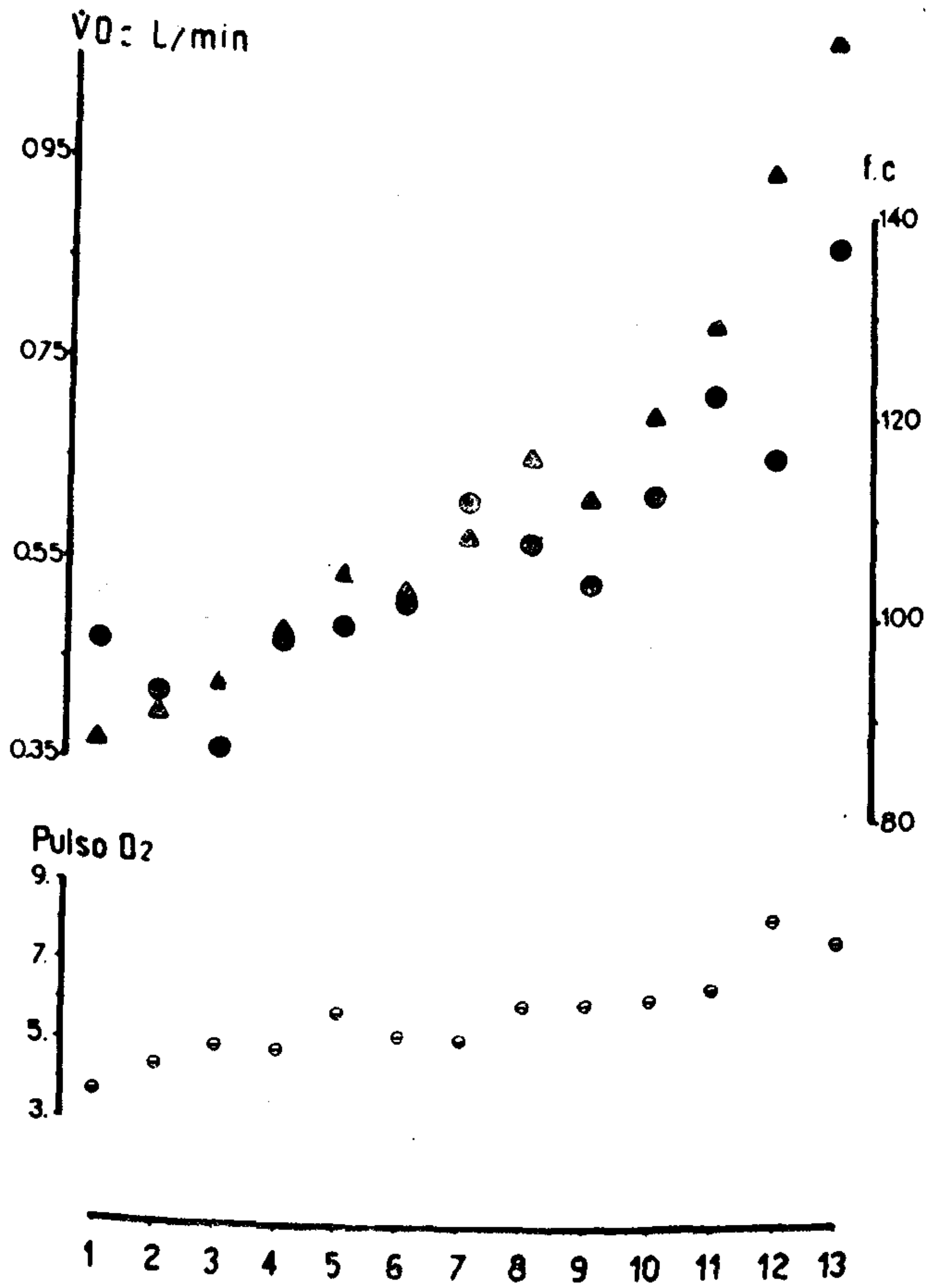


Figura 9

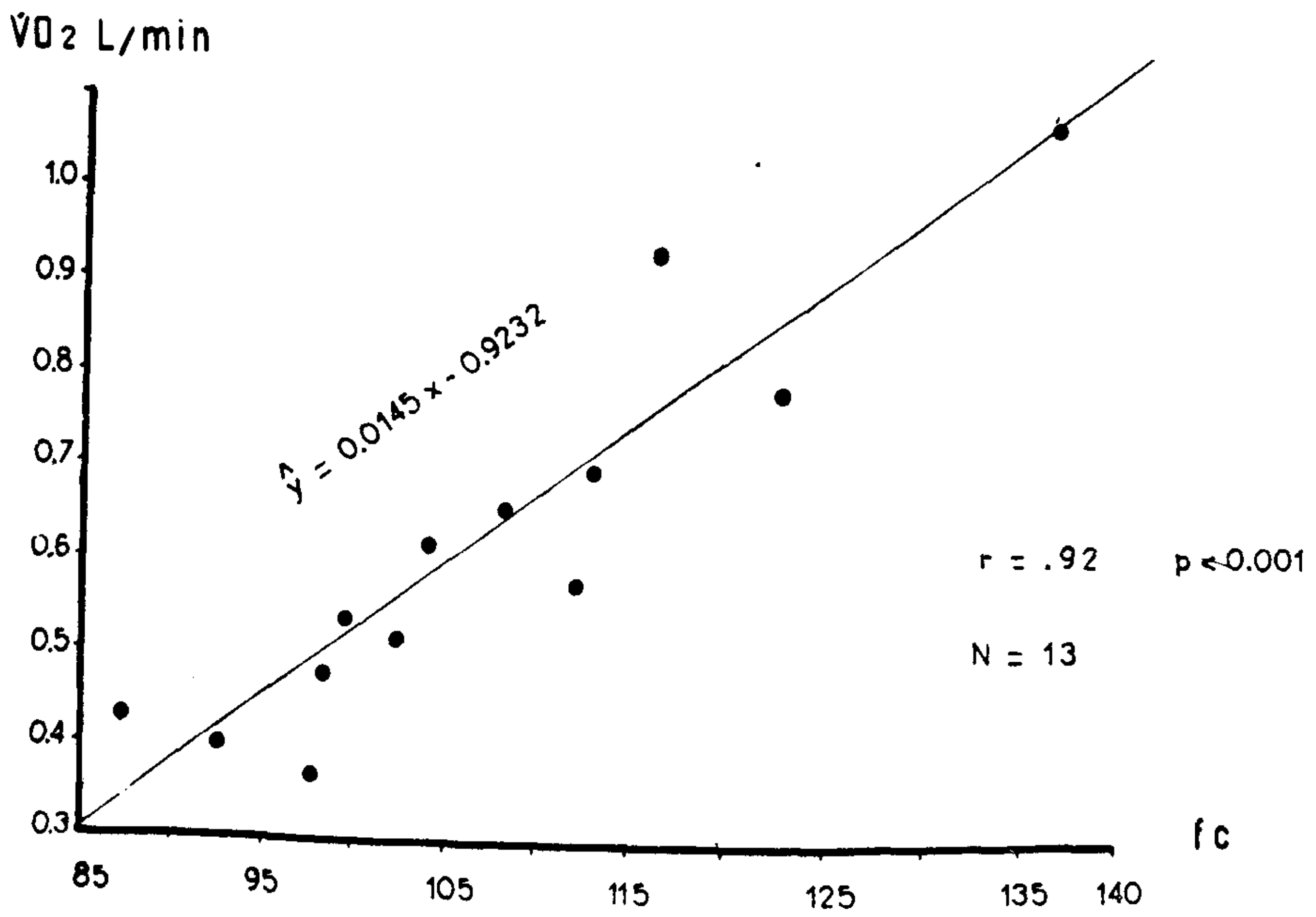


Figura 10

(21) se obtendría una máxima adaptación cardiovascular en estos pacientes cuando el costo energético del trabajo diario está entre las 300 y 500 Kcal. El conocimiento de la demanda metabólica de toda la serie examinada nos permitiría la prescripción del tipo y duración de la actividad física a la que debe ser sometido un paciente coronario.

En estos niveles de intensidad y duración del trabajo se obtuvo una función lineal entre la Fc y el VO₂, hecho que permitiría conocer este último dato a partir del primero cuando no es factible medir el VO₂ en forma directa.

Por un test de comparación de medias se obtuvieron cuatro grupos de ejercicios bien determinados de acuerdo a su intensidad. Según el módulo de Benedict y Harris (14) y el peso medio de la población estudiada, el costo energético de reposo es de 0,902 Kcal/hora.

El primer grupo de ejercicios (del 1 al 4) superó el valor de reposo desde un 47 a un 101%, el segundo grupo (del 5 al 9) demandó un requerimiento calórico desde un 105 y 173% superior a la necesidad durante el reposo. El tercer grupo (10 y 11) tuvo una demanda metabólica desde 194 a 255% mayor que la del reposo, mientras el cuarto grupo (12 y 13) superó a la misma desde el 277 al 337%.

Los resultados del costo energético obtenidos en el presente estudio a velocidades de pista de 3 y 4,5 Km/hora son similares a los valores hallados por Robbert y Workman (5, 6 y 10).

La importancia del pulso de oxígeno (VO₂/Fc), medida relativa del volumen sistólico (22), estriba no sólo en que este aumenta a medida que se incrementa la intensidad de la carga, sino que a cualquier nivel del mismo, es mayor en un sujeto entrenado que en el que no lo está (23).

La respuesta ventilatoria observada en la serie estudiada estuvo en relación a la moderada demanda energética (24).

SUMMARY

MEASUREMENT OF ENERGY COST AND CARDIORESPIRATORY VARIABLES IN A SERIES OF GYMNAS TIC EXERCISES FOR CORONARY PATIENTS

In forty three sedentary healthy male subjects, Oxygen Consumption was measured by

the Douglas' bag method and by volumetric and electronic analyses of expired gases. These measurements and other cardiorespiratory variables were made at rest and during thirteen gymnastic exercises included in a "Coronary Patients Rehabilitation Program". The exercises were classified according to its intensity. Energy Cost of each one was expressed as MET and as kcal per hour per kg.

Lineal relationship was found between oxygen consumption and heart rate for all the exercises under study, Oxygen Pulse values, Oxygen Extraction ratio and Ventilometry of each exercise are shown.

BIBLIOGRAFIA

1. Naughton, J.: Rehabilitation following myocardial infarction. *Am. Journal of Medicine*, 46, 725-733, 1969.
2. Passmore, R. y Durnin, J. V.: *Physiol. Rev.*, 35, 802, 1955.
3. Leveroni, A. F.: Fisiología del Ejercicio, en "Fisiología Humana", de Houssay, Foglia, V. G. y colaboradores. El Ateneo, Buenos Aires (en prensa).
4. Aramendia, P.; Feroso, J. P. y Leveroni, A. F.: Efectos del entrenamiento sobre la adaptación a un ejercicio submáximo. Reunión Anual de la Soc. Arg. de Investigación Clínica. Medicina, vol. XXV (1), 60, 1965.
5. Workman, J. M.: Oxygen cost of treadmill walking. *J. Appl. Phys.*, 18, 798-803, 1963.
6. Workman, J. M.: A Nomogram for predicting treadmill - Walking oxygen consumption. *J. Appl. Phys.*, 19, 150-151, 1964.
7. Andersen, K. L. y Shephard R. J.: *Fundamentals of Exercise Testing*. World Health Organization, Ginebra, 1971.
8. Hellerstein, H. K.: Techniques of exercise prescription and evaluation. *J. S. Carolina Med. Assoc.*, 65, 46-56, 1969.
9. Jankowski, L.: Accuracy methods for estimating O₂ cost of walking in coronary patients. *J. Appl. Phys.*, 33 (5), 672-673, 1972.
10. Bobbert, A. C.: Energy expenditure in level and grade walking. *J. Appl. Phys.* 15 (6), 1915-1021, 1960.
11. Givoni, S.: Predicting metabolic energy cost. *J. Appl. Phys.*, 30, 429-433, 1971.
12. Haldane, J. S.: *Respiration*. London: Oxford Univ. Press, 1963.
13. Shollander, P. F.: *J. Biol. Chem.*, 67, 235, 1947.
14. Consolazio, F. y Johnson, H. I.: *Federation Proceedings*, vol. 30, N° 4, Julio-Agosto 1971.
15. Kleiber, M.: Respiratory exchange and metabolic rate. *Handbook of Physiology*, vol. 2, 927-935, 1965.
16. Tablas Científicas GEIGY, VI edición, 638, 1963.
17. Pollock, M. J.: Effects of walking on body composition and cardiovascular functions of middle-age men. *J. Appl. Phys.*, 30 (1), 126-130, 1971.

18. Anderson, W. A. D.: Pathology. Mosby Company, Londres, vol. 1, 1971.
19. Holmberg, S.: Coronary circulation during heavy exercise in control subjects and patients with coronary heart disease. Acta. Med. Scand., 190, 465-489, 1971.
20. Pollock, M. J.: Effects of frequency of training on working capacity cardiovascular function and body composition of adult men. Med. Sci. Sports, 1, 70-74, 1969.
21. Cureton, T.: The physiological effects of exercise programs on adult men. Springfield: Thomas, 1969 (6-23).
22. Astrand, Per Olof: Textbook of work physiology. Mc Graw-Hill Book Company, 1970.
23. Wasserman, K.: Exercise physiology in health and disease. Amer. Review of Resp. Disease, 12, 219-249, 1975.
24. Falls, H. S.: The respiratory systems and exercise. Academic Press Inc., Londres, 43-78, 1968.