

Estudio comparativo de la Banda y la Bicicleta Ergométrica en las pruebas graduadas de esfuerzo

Dres. ALFREDO PALACIO, RAFAEL JURADO, Sr. EFREN SANTOS,
Dres. ANTONIO FERNANDEZ y RAFAEL ENDERICA

SUMARIO

Dos métodos de prueba de esfuerzo utilizando la plataforma y la bicicleta ergométrica son comparados, considerando el consumo de oxígeno miocárdico (MVO₂) como el parámetro de referencia comparativa. El MVO₂ en términos de doble producto (Frecuencia Cardíaca × Presión Arterial Sistólica) o de triple producto (Frecuencia Cardíaca × Presión Arterial Sistólica × Tiempo de Ejección) ha sido utilizado en la evaluación de pacientes con angina de pecho durante las pruebas de esfuerzo. Parece razonable utilizarlo al realizar un estudio comparativo de dos instrumentos ergométricos como evaluadores del metabolismo energético cardíaco. Consecuentemente 20 individuos sanos fueron sometidos a dos protocolos similares utilizando los dos ergómetros, obteniendo una buena correlación ($P < 0.001$) entre ellos. Las implicaciones en clínica cardiológica son, que en la evaluación del metabolismo aeróbico miocárdico, cuando el individuo es confrontado al esfuerzo, la bicicleta y la plataforma ergométrica nos dan resultados reproducibles entre ellos. Este tipo de estudios haría posible que un mayor número de centros y laboratorios participen en estudios comparativos de rastreo, profilaxis y rehabilitación de la enfermedad coronaria.

La prueba máxima de ejercicio se utiliza ampliamente en laboratorios cardiovasculares para desenmascarar la enfermedad coronaria y para definir los límites fisiológicos máximos del paciente, usualmente expresado como VO₂ Max. (1) (2).

Los ergómetros utilizados son fundamentalmente la banda (treadmill) de amplio uso en Norte America y la bicicleta ergométrica más utilizada en Europa y Sudamérica.

Comunicaciones de estudios comparativos entre esos dos instrumentos ergométricos, reportan un mayor VO₂ máximo cuando se corre en la banda. (3) (4) Por consiguiente, los resultados clínicos podrían proporcionar una interpretación eventualmente diferente si el mismo individuo es sometido a prueba de esfuerzo en ambos instrumentos.

Sin embargo si consideramos que la capacidad funcional corporal máxima (VO₂ Max) no depende exclusivamente de la actividad cardíaca (5) es razonable presumir que las diferencias obtenidas con ambos ergómetros, no revelan necesariamente un diferente desempeño miocárdico.

Consecuentemente, si el objetivo se centra en la investigación clínica del metabolismo energético cardíaco, resulta recomendable comparar ambos instrumentos utilizando parámetros directamente vinculados al consumo de oxígeno miocárdico (MVO₂) (6) el cual depende en forma prácticamente exclusiva del flujo coronario y de los requerimientos miocárdicos de oxígeno. (7) Un paciente con angina siempre desarrollará síntomas cuando alcance el mismo punto crítico de MVO₂, (8) por lo tanto durante el mismo nivel de ejercicio y a la misma carga de trabajo externo impuesto, siempre que utilizemos el mismo protocolo ergométrico, y por

División Cardio-Respiratoria. Centro de Diagnóstico Médico. Guayaquil, Ecuador.

supuesto en ausencia de intervención terapéutica. (9)

El MVO₂ ha sido estudiado en base a sus determinantes (10) y puede ser clínicamente calculado por métodos no invasivos simples (11) (12) durante pruebas de esfuerzo únicas o en serie para evaluar la terapéutica empleada (13) (8) ya que esta va siempre dirigida a modificar el MVO₂, ya sea aumentándolo como resultado del incremento quirúrgico del flujo coronario, o disminuyéndolo como en el caso de una reducción de importantes determinantes del consumo de oxígeno cardíaco después de la administración de bloqueadores beta-adrenergicos. En ambos casos un incremento del VO₂ Max es esperado y por lo tanto un aumento de la tolerancia al esfuerzo. La hipótesis para el presente estudio es que la diferencia de VO₂ Max que existe cuando se comparan ambos ergómetros no necesariamente refleja una diferencia en la evaluación del metabolismo aeróbico miocárdico y mas bien podría reflejar la intervención de factores no cardíacos. Consecuentemente esta diferencia sería menos significativa si los dos ergómetros son comparados en relación al MVO₂ directamente.

En este sentido decidimos llevar a cabo un estudio comparativo utilizando protocolos de carga múltiple de tipo continuo, empleando el MVO₂ producido en cada fase como parámetro de referencia y comparación de ambas pruebas en el mismo individuo. Esto es, establecer el ritmo de incremento de consumo de oxígeno miocárdico en un mismo individuo utilizando dos protocolos y dos ergómetros.

MATERIALES Y METODOS

20 hombres saludables, no atléticos, de 20 a 40 años de edad, se sometieron a dos pruebas de ejercicio máximo, en la banda y en la bicicleta, bajo las mismas condiciones de ayuno, descanso, hora en la mañana, temperatura, humedad y sin fumar.

A cada individuo se le explicó extensamente acerca de las pruebas y se lo motivó para que alcanzara un punto final de ambas. Se enfatizó la necesidad de evitar un efecto de contracción isométrica sobre el timón de la bicicleta o pasamano de la banda. La prueba de la banda fue realizada en una banda mar-

ca Quinton, y la de la bicicleta en una bicicleta de freno eléctrico marca Schwinn. Los protocolos en ambos ergómetros corresponden a la de la prueba de niveles múltiples, autodeterminada hasta llegar a la capacidad máxima del individuo. Para la prueba de la banda utilizamos el método descrito por Bruce et al (14) sin ninguna modificación puesto que estábamos a nivel del mar.

Las pruebas en bicicleta se realizaron bajo un protocolo preparado también en base a incrementos graduados de carga hasta llegar a un punto final determinado en que el individuo alcanza su tolerancia máxima. Los aumentos progresivos son de 300 Kg/mt/min por fase, durando cada uno tres minutos. La velocidad de pedaleo es estable 60-70 RPM. Cada individuo tuvo un calentamiento de 1 minuto sin inclinación en la banda y sin carga en la bicicleta. Revisando algunas publicaciones comparativas (15) encontramos que los períodos con incremento de carga de 300 Kg tienen aproximadamente el mismo consumo de energía que los incrementos progresivos de la prueba de la banda, con una diferencia de solamente 1 caloría en cada etapa. Valores similares hemos obtenido en nuestro laboratorio cuando lo instalamos hace 22 meses. (Tabla 1).

Trazados electrocardiográficos se hicieron al descanso, cada minuto durante la prueba e inmediatamente después, usando un electrocardiógrafo Hewlett Packard 1500B y el monitoreo cardíaco fue hecho en un visoscopio Hewlett Packard 7803B constantemente. Las derivaciones utilizadas fueron EV5. La presión arterial fue constantemente registrada y el MVO₂ fue calculado indirectamente del doble producto (Frecuencia Cardíaca \times Presión Arterial Sistólica). (7) (11) La prueba fue planeada para que sea auto determinada por motivos de fatiga u otros síntomas. La meta a alcanzarse por cada individuo en ambas pruebas fue: la máxima frecuencia cardíaca esperada (16) y el VO₂ máximo. (1) (14) El MVO₂ fue calculado al final de cada fase durante ambas pruebas realizadas por cada individuo. Los datos estadísticos fueron obtenidos de acuerdo a cálculos standard: valores promedio, desviación normal, coeficiente de variación, correlación y regresión.

TABLA 1

CUADRO COMPARATIVO DEL CONSUMO DE OXIGENO SEGUN LOS PROTOCOLOS DE BANDA (BRUCE) Y BICICLETA ERGOMETRICA

	PRIMERA FASE		SEGUNDA FASE		TERCERA FASE		CUARTA FASE	
	1,7 mph 10 %	300 Kg/Mt/Min.	2,4 mph 12 %	600 Kg/Mt/Min.	3,5 mph 14 %	900 Kg/Mt/Min.	4,2 mph 16 %	1200 Kg/Mt/Min.
VO2	1200	900	1700	1500	2200	2100	3100	2800
CAL	6	4,5	8	7,5	11	10,5	15	14
METS	4,8	3,7	7	6	9-10	8	13	11
	3 minutos		6 minutos		9 minutos		12 minutos	

RESULTADOS

El doble producto obtenido cada tres minutos en cada individuo durante ambas pruebas, la bicicleta y la banda, no demostraron diferencias significativas.

Figura 1, 2 y 3 demuestran la relación de los valores del MVO2 de todos los pacientes a los 3, 6 y 9 minutos de ejercicio en la banda o bicicleta. Una buena correlación

fue observada entre los dos metodos $r=0.79$ a los 3 minutos; $r=0.82$ a los 6 minutos y $r=0,74$ a los 9 minutos) indicando que los dos métodos están imponiendo cargas similares en el corazón. La tabla 2 demuestra los valores promedio, la desviación normal y su porcentaje.

Al minuto 3 el MVO2 promedio en la banda era mas elevado que en la bicicleta,

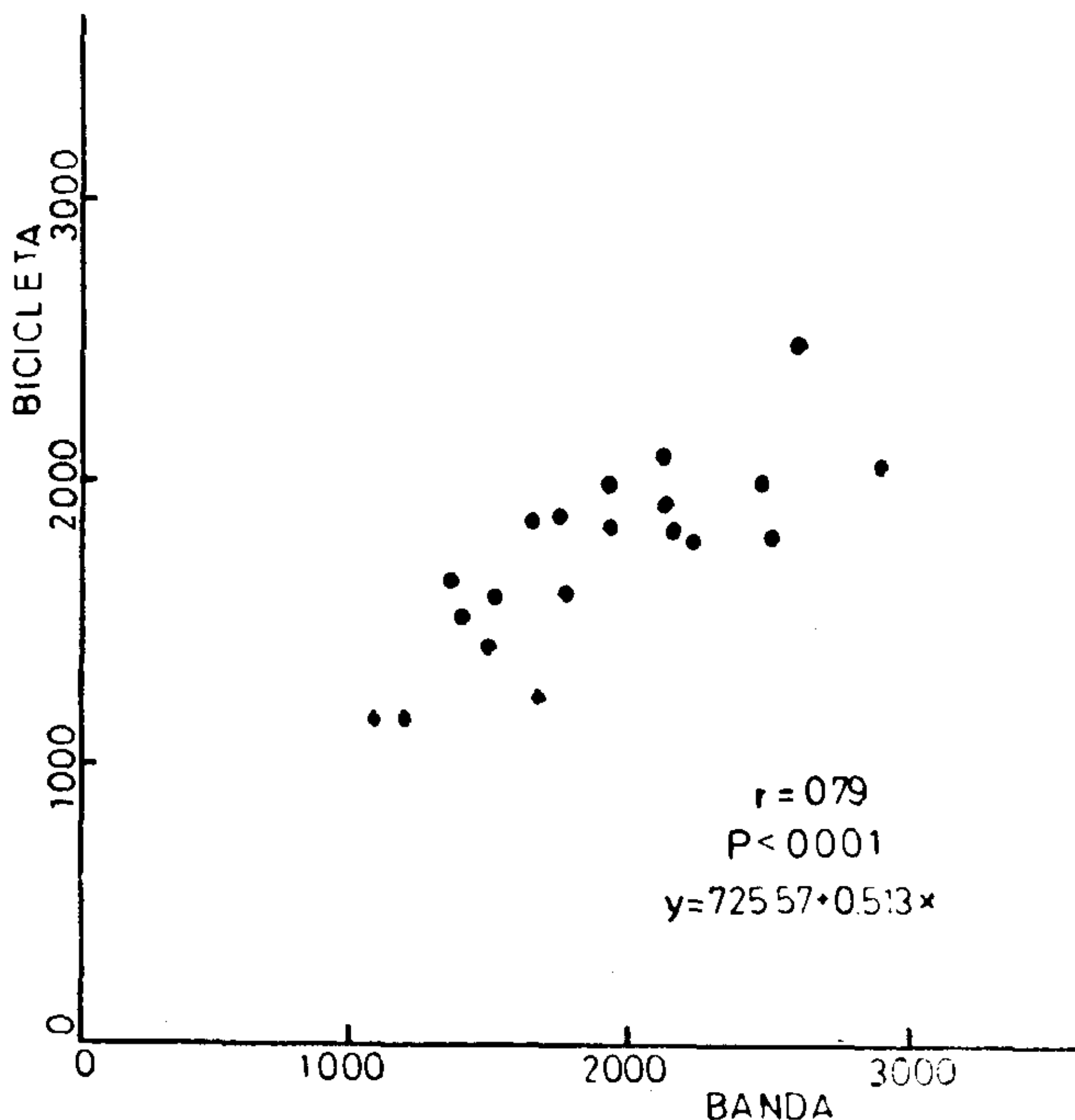


Figura 1

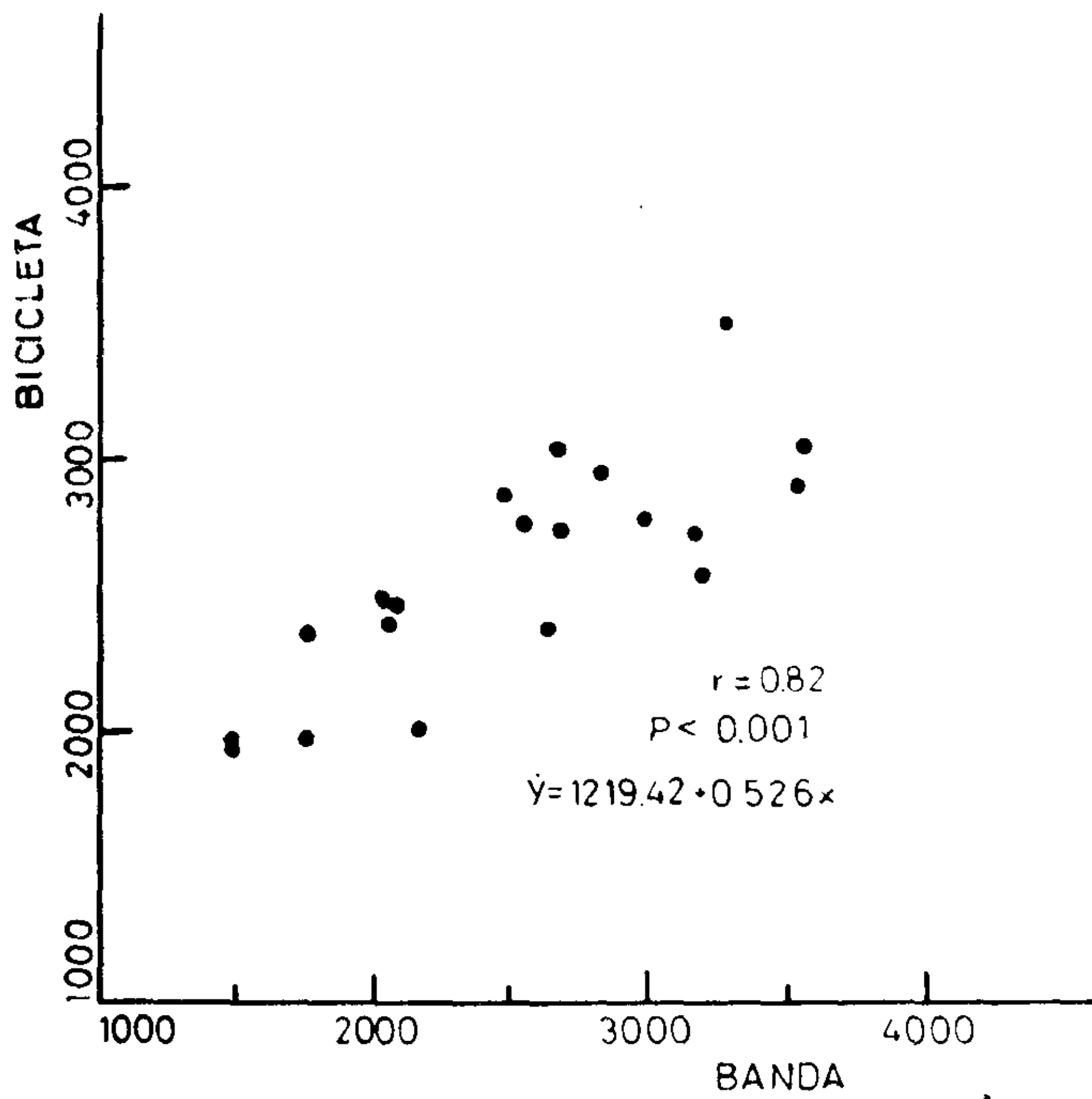


Figura 2

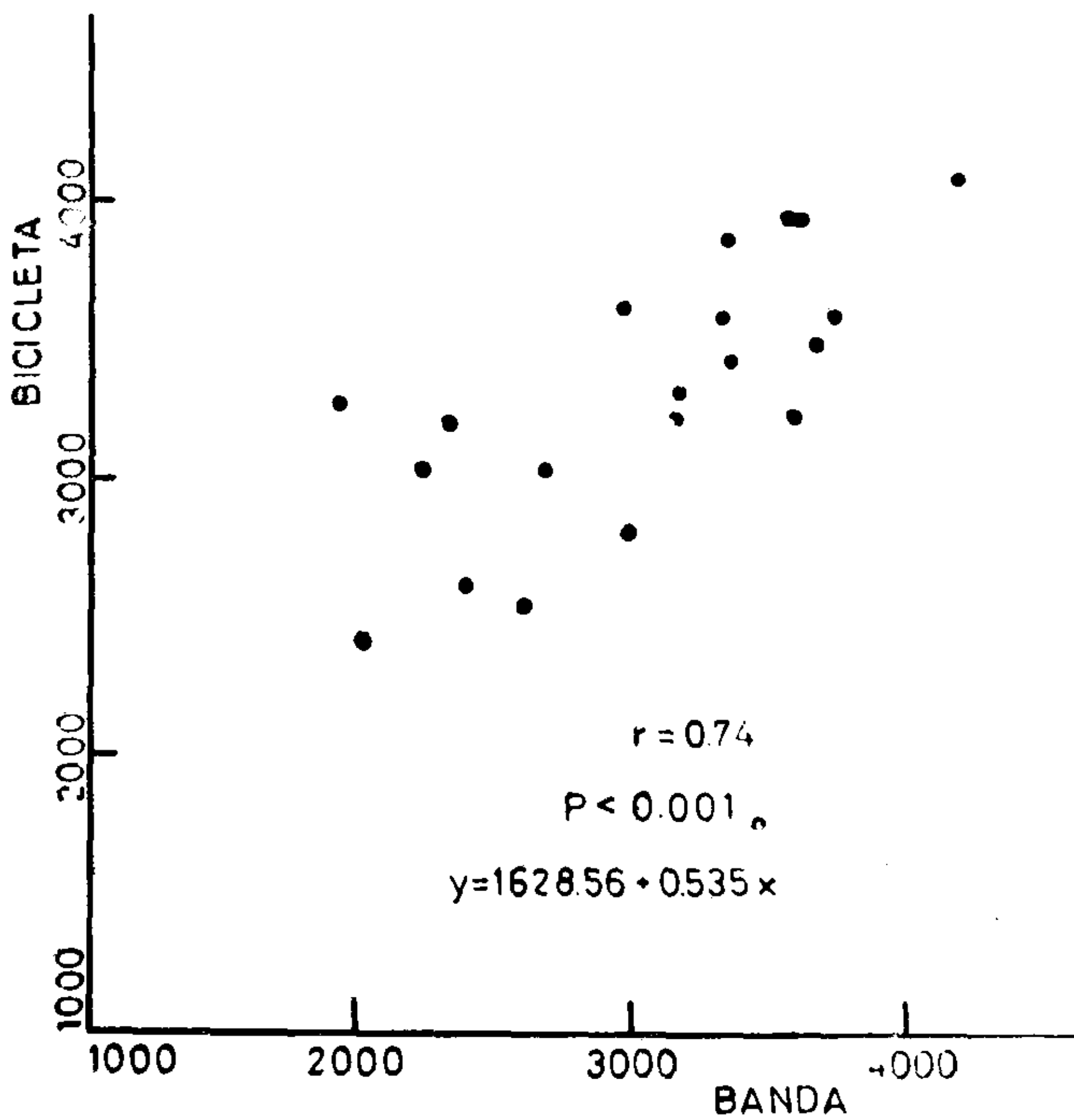


Figura 3

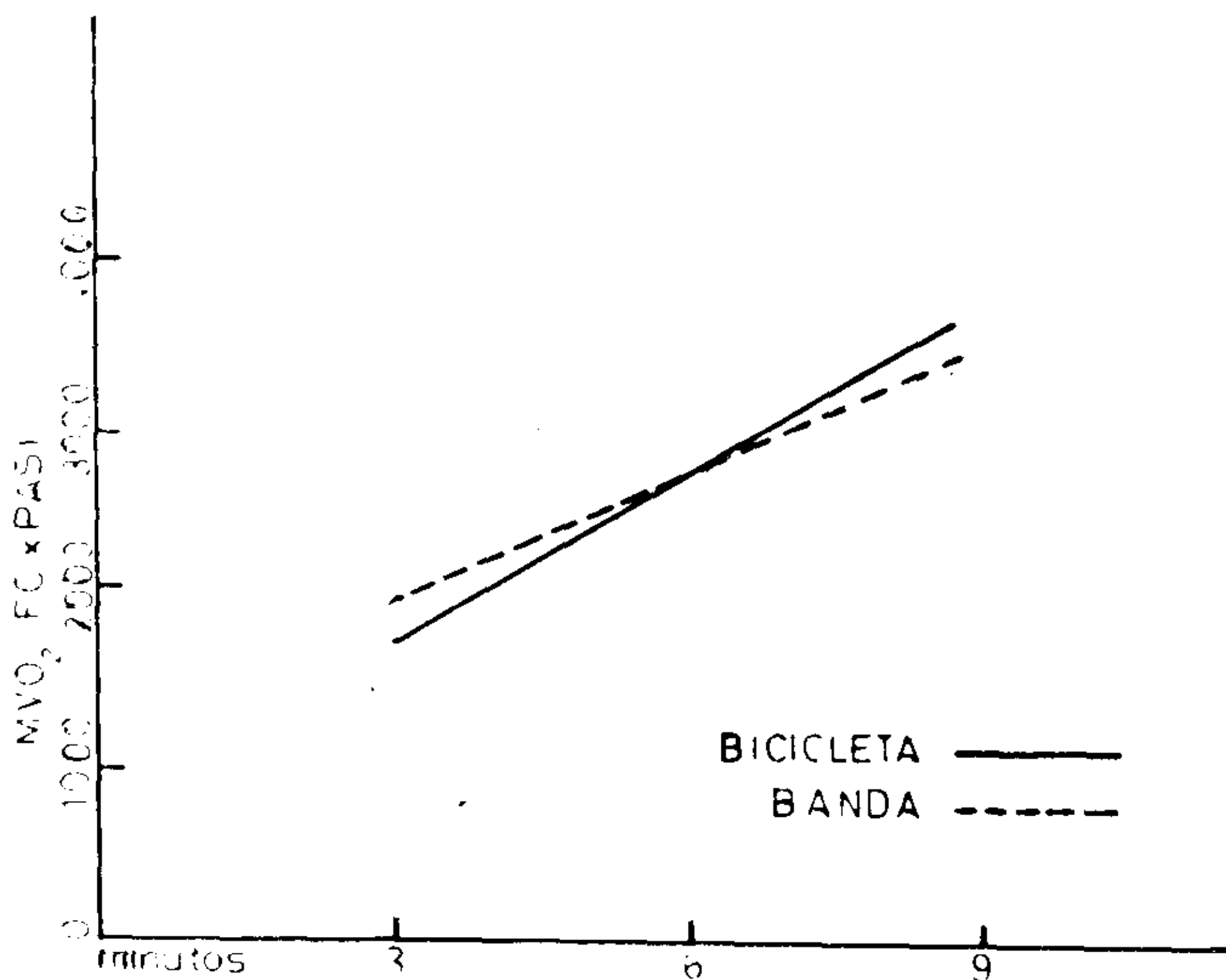


Figura 4

en el sexto minuto los valores promedio estuvieron muy cerca y en el 9 minuto la bicicleta tiene un MVO₂ promedio mas elevado produciendo un cruce de líneas. (Fig. 4) Según nuestros conocimientos no existen estudios previos para comparar estos resultados. Todos, menos dos pacientes alcanzaron su punto final en la cuarta fase en ambas pruebas. Dos pacientes llegaron a la quinta fase en ambas pruebas, a pesar de

que su frecuencia y presión se estabilizaron en la cuarta. El punto final varió de una prueba a otra en cada paciente, pero siempre ocurrió en la misma fase. Consecuentemente 12 de los 20 pacientes alcanzaron un VO₂ Max más elevado en la banda que en la bicicleta (10.97 % más elevado). Un segundo grupo de 8 individuos obtuvo un valor más elevado de capacidad aeróbica máxima en la bicicleta (5.8 % más elevado).

TABLA 2

VALOR PROMEDIO (x) DESVIACION NORMAL (DN) Y COEFICIENTE DE VARIABILIDAD (100DN/x) DEL MVO₂ (Doble Producto) A LOS 3, 6 y 9 MINUTOS DE EJERCICIO EN LA BANDA Y BICICLETA

RESULTADOS	TRES MINUTOS	SEIS MINUTOS	NUEVE MINUTOS
BANDA			
×	1.909,6	2.533,9	3.060,3
DN	487,1	631,1	615,8
100 DN/×	25,5 %	24,9 %	20,1 %
BICICLETA			
×	1.705,2	2.552,2	3.265,8
DN	316,7	407,0	446,8
100 DN/×	18,6 %	15,9 %	13,7 %

Pero esta diferencia no es estadísticamente significativa ($P < 0.05$). Al contrario el MVO₂ al final de cada fase de 3 minutos tuvo una alta correlación ($P < 0.001$) para ambos métodos usados. Fig. 1, 2 y 3.

No hemos considerado sin embargo el doble producto obtenido en el punto final de las pruebas. Aunque ellos fueron muy similares para el mismo individuo y ocurrieron en la misma fase, no se ubicaron en el mismo minuto. En los 20 hombres que incluimos en nuestro estudio, obtuvimos un coeficiente menor en la bicicleta que en la banda. (Tabla 2)

DISCUSION

Varios estudios comparativos han sido hechos para evaluar ambos instrumentos ergométricos. La mayoría de ellos demuestra un VO₂ Max mas elevado en la banda (3) (4) a pesar de que Astrand señala que los mismos criterios objetivos no fueron usados en ambos protocolos. Pero según nuestros conocimientos, no se ha hecho ningún estudio comparando la banda con la bicicleta, usando protocolos similares y sobre la base de consumo de oxígeno miocárdico a niveles submáximos correspondientes y hasta el punto de estabilización de sus determinantes mensurables.

No hay duda acerca del valor del VO₂ Max., sobre todo cuando la capacidad aeróbica esta escalonada desde niveles submáximos hasta niveles máximos. (17) Sin embargo es un trabajo externo que depende lógicamente del MVO₂, pero también de condiciones periféricas y factores externos (5) (12) y de la habilidad individual de hacer un tipo de esfuerzo u otro; esto explicaría la pequeña diferencia de consumo de oxígeno corporal de aproximadamente una caloría o de 3 o 4 ml/kg a niveles submáximos de ejercicio pedaleando o corriendo (Tabla 1).

Por ejemplo, aunque sin valor estadístico, puede ser importante que el primer grupo de personas que alcanzaron un VO₂ Max, 10.97 % más alto en la banda tienen un peso corporal por debajo de 70 kg. En contraste, el grupo de personas con un 5.8 % mas alto en la bicicleta presentó un peso corporal por encima de 70 kg. Una implicación sería que individuos mas pesados se desempeñan me-

yor en la bicicleta, ya que al estar sentados no transportan su peso corporal. Nosotros creemos que este es un punto importante que merece ser estudiado tomando una mayor población. Pero al margen de lo que esta diferencia signifique, no afecta los niveles de MVO₂ a niveles submáximos ni su ritmo de incremento. En nuestro estudio nosotros presentamos en términos de doble producto el MVO₂ alcanzado por el mismo individuo en periodos correspondientes, al final, fases similares de 3 minutos y con cargas de trabajo externo aproximados. Los niveles similares de MVO₂ al final de las fases 1, 2 y 3 en ambos instrumentos es una evidencia clara de que estos han impuesto sobre el miocardio cargas de trabajo siguiendo escalas de niveles submáximos muy similares. El incremento de MVO₂ produce una linea ascendente similar durante ambas pruebas. Las conclusiones son que la bicicleta y la banda producen niveles similares de MVO₂ a un tiempo dado durante la misma fase correlacionando con la cantidad de carga de trabajo y duración del ejercicio en ambas pruebas. Consecuentemente, ambas poseen una buena correlación en su análisis del flujo coronario (18) (7). Una obstrucción a este flujo afectará el MVO₂ (19) con características similares en tiempo, fase del protocolo y nivel de carga externa, cuando este parámetro es evaluado por medio de dos metodos. Un paciente con angina desarrollará síntomas al mismo nivel de MVO₂ (8) (12) (13). Este punto crítico será el mismo en términos de fase del protocolo y período de tiempo, en la banda o en la bicicleta, si utilizamos protocolos similares, como los investigados en el presente estudio, resultando una evaluación cardiológica similar. Revisando la importante información existente no solo acerca de los dos instrumentos, sino también concerniente a los metodos y protocolos utilizados en varios paises (20) (21) (15) encontramos que existen dificultades prácticas para obtener uniformidad en el juicio objetivo y en la evaluación de un paciente cardiaco al ser sometido a prueba de esfuerzo mas de una vez y con mas de un metodo o instrumento. Este hecho justifica plenamente la reciente publicación de Pollock, et al (22) en la que 4 métodos de pruebas de esfuerzo en banda son es-

tudiados comparativamente en forma exhaustiva. Sin embargo nosotros pensamos que estudios similares deben ser realizados para comparar métodos en ambos instrumentos ergométricos.

En nuestro laboratorio realizamos una prueba de esfuerzo de etapas múltiples de tipo continuo, y la evaluación del rendimiento cardíaco por este método es reproducible por la prueba de Bruce en la banda. Hemos encontrado que este hecho reviste gran importancia en nuestro medio donde ambos instrumentos comienzan a ser usados comunmente.

El desarrollo de métodos con alto índice de uniformidad y reproductibilidad beneficiará indiscutiblemente a los pacientes que después de ser sometidos a estudios completos iniciales o a cirugía cardíaca en uno de los pocos centros completamente equipados de sudamérica, deben ser seguidos por medios objetivos, como pruebas de esfuerzo, en una ciudad diferente. Es además concebible que los programas de rastreo, profilaxis y rehabilitación de la enfermedad coronaria podrían llevarse a cabo en estudios prospectivos cooperativos en nuestros países si métodos estandarizados se desarrollan.

ADENDUM

Después de terminado este estudio, dos pacientes coronarios con angina de pecho fueron sometidos a ambas pruebas, la banda y la bicicleta. En cada uno de ellos, la prueba fue interrumpida por dolor al pecho al mismo nivel de MVO₂ ya sea en la bicicleta o la banda. En el primer paciente, este punto crítico fue alcanzado a los 2 minutos 30 segundos en la banda, y a los 2 minutos 20 segundos en la bicicleta. El segundo paciente el punto crítico de MVO₂ lo alcanzó a los 5 minutos 50 segundos en la banda y a los 5 minutos 20 segundos en la bicicleta (terminando en la segunda fase)

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen la asistencia técnica de la Señorita Azucena Brown y de la Señora Carola Lertora y la ayuda estadística de la Señorita Gladys Rivas (Instituto Nacional de Higiene).

SUMMARY

A COMPARATIVE STUDY OF TREADMILL AND ERGOMETER BICYCLE IN MULTISTAGE STRESS TESTING

Two methods of stress testing, using the treadmill and the bicycle ergometer, are compared, considering the Myocardial Oxygen Consumption (MVO₂) as the comparative reference parameter. MVO₂ in terms of double product (Heart Rate \times Blood Pressure) or triple product (Heart Rate \times Blood Pressure \times Ejection Time) has been used in the evaluation of patients with angina pectoris during stress tests. It seems reasonable to use this parameter, when performing a comparative study of two ergometer instruments as evaluators of the cardiac energetic metabolism. Consequently, 20 healthy individuals underwent two exercise tests using similar protocols in both ergometers, obtaining a good correlation ($P < 0.001$) between them. The implications in clinical cardiology are that in the evaluation of the aerobic myocardial metabolism, when the individual is confronted to stress, the bicycle and the treadmill give us reproducible results. This type of study makes it possible for a larger number of centers and laboratories to participate in comparative studies of screening, prophylaxis and rehabilitation of coronary heart disease.

BIBLIOGRAFIA

1. Astrand, P. y Rodahl, K.: Text Book of Work Physiology. McGraw Hill Book Co., New York, 1970, p. 305-315.
2. Bruce, R. A.: Exercise Testing of patients with coronary heart disease: Principles and normal standards for evaluation. Ann. Clin. Res., 3: 323-332, 1971.
3. Bruce R. A.: Methods of Exercise Testing. Am. J. Cardiol., 33: 715-720, 1974.
4. Astrand, P. y Rodahl, K.: Text Book of Work Physiology. McGraw Hill Co., New York, 1970, p. 345-346.
5. Epstein, S. E.; Redwood, D. E. y Goldstein, R. E.: Angina Pectoris: Patho - physiology, evaluation and treatment. Ann. Int. Med., 75: 263-296, 1971.
6. Sonnenblick, E. H. y Skelton, C. L.: Oxygen consumption of the heart: Physiological principles and clinical implications, Mod. Con. Cardiovas. Dis., 40: 0, 1971.
7. Kitamura, K.; Jorgensen, C. R.; Gobel, F. et al.: Hemodynamic correlates of myocardial oxygen consumption during upright exercise. J. Appl. Physiol., 32: 516-522, 1972.
8. Amsterdam, E. A.; Hugher, J. L.; De María, An et al.: Indirect assessment of myocardial oxygen consumption in the evaluation of mechanisms and therapy of angina pectoris. Am. J. Cardiol., 33: 737-743, 1974.

9. Goldstein, R. E. y Epstein, S. E.: The use of indirect indices of myocardial oxygen consumption in evaluating angina pectoris. *Chest*, 63: 302-306, 1973.
10. Sarnof, S. J.; Braunwald, E.; Welch, C. H. et al.: Hemodynamic determinants of oxygen consumption of the heart with special references to tension time index. *Am. J. Physiol.*, 192: 148-156, 1956.
11. Jorgensen, C. R.; Wang, K.; Gobel, F. L. et al.: Effects of propranolol on myocardial oxygen consumption and its hemodynamic correlates during upright exercise. *Circulation*, 48: 1173-1182, 1973.
12. Robinson, B. F.: Relation of Heart Rate and Systolic Blood Pressure to the onset of pain in angina pectoris. *Circulation*, 35: 1073-1083, 1967.
13. Clause, J. P.: y Trap-Jensen, J.: Heart Rate and arterial blood pressure during exercise in patients with angina pectoris. *Circulation*, 53: 436-442, 1976.
14. Bruce R. A.; Kusumi, P. y Hosmer, D.: Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiac vascular disease. *Am. Heart J.*, 85: 546-562, 1973.
15. Infarto del Miocardio. Profilaxis. Rehabilitación. con el apoyo de la Comisión de Rehabilitación de la Sociedad Internacional de Cardiología, 1973, p. 66-67.
16. Robinson, S.: Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Physiology* 10: 251, 1938.
17. Blackmon, J. R.; Rowell, B.; Kennedy, K. W. et al.: The physiological significance of maximal oxygen intake in "pure" mitral stenosis. *Circulation*, 36: 497, 1967.
18. Katz, L. N. y Feiberg, H.: The relation of cardiac effort to myocardial oxygen consumption and coronary flow. *Cir. Res.*, 6: 656-669, 1958.
19. Berne, R. M.: Regulation of coronary Blood Flow. *Physiol. Rev.*, 44: 1-29, 1964.
20. Zohman, L. R. y Tobis, J. S.: La rehabilitación en cardiología. Versión española. Ediciones Toray S.A. Barcelona, 1975, p. 90-91.
21. Boskis, B.; Scattini, M. C. y Lerman, J.: Metodología de la prueba de esfuerzo graduado (P.E.G.) con plataforma ergométrica. *Revista Argentina de Cardiología*, 41: 127-152, 1973.
22. Pollock, M. L.; Bohannon, R. L.; Cooper, K. H. et al.: A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. *Am. Heart J.*, 92: 39-46, 1976.