

MEDIDA DIRECTA DEL CONSUMO DE OXIGENO EN LA PRUEBA CARDIOPULMONAR DEL EJERCICIO COMPARADA CON LA MEDICION INDIRECTA EN ERGOMETRIA

JORGE POLLICE, HECTOR BALBARREY, PABLO CIAFARDONI, MARTA CERRI, STELLA TAVOLINI

Hospital Italiano, Instituto Gamma y Centro Médico Ipam. Rosario. Santa Fe.
Dirección postal: Dr. Jorge Pollice. Maipú 2048. 2000 Rosario. Santa Fe. Argentina.
Recibido: Diciembre de 1997
Aceptado: Marzo de 1998

Summary

Resumen: Los estudios de estrés físico son utilizados ampliamente para diagnóstico de patologías cardiovasculares y pulmonares, pero también para medir la reserva orgánica y su modificación por tratamientos médicos, fisiátricos o quirúrgicos. Siendo el oxígeno (O_2) el principal combustible que utilizan los músculos en movimiento, su consumo es la medición más exacta de la integridad del aparato cardiocirculatorio y respiratorio, de su interdependencia, siendo proporcional a la amplitud del esfuerzo en personas normales. El registro computado de exactos analizadores directos de gases y su volumetría, como así también de todos los parámetros obtenidos por el software, nos permite el estudio de la fisiología y fisiopatología durante un esfuerzo físico. La medición del consumo de oxígeno (VO_2) indirecto obtenido por fórmulas, volcadas a tablas, según peso y carga ergométrica, muestra imprecisiones que es nuestro objetivo tratar de demostrar. Para ello, comparamos simultáneamente la medición directa del consumo de oxígeno máximo ($VO_{2\max}$) con un equipo Medgraphic 2001 CPXD con oximetría y la medición indirecta con ergometría computarizada con programa Cardiovox en 60 individuos, que fueron divididos en 3 grupos: 20 normales entrenados (E), 20 sedentarios normales (S) y 20 pacientes con insuficiencia cardíaca (ICC) que ejercitaron un protocolo igual, en banda ergométrica, incremental, de un met cada 90 segundos. Se compararon el $VO_{2\max}$ obtenido por ambos métodos analizándose los valores en grupos por rangos de capacidad funcional. Se obtuvo la media, el desvío estándar, el coeficiente de correlación (Pearson) y se utilizó el test t de Student para grupos apareados. Se observó que, aunque existe correlación entre ambos métodos, la medición indirecta sobrevalora el $VO_{2\max}$ en los sedentarios. En los entrenados, en cambio, los infravalora. En los pacientes con insuficiencia cardíaca, los valores indirectos sobrestiman significativamente el $VO_{2\max}$ respecto de la medición directa con disparidad más amplia en los rangos intermedios ($p: 0,001$). Concluimos que los valores indirectos de $VO_{2\max}$ no son útiles en los entrenados por no ser de exacta cuantificación. Menos aún pueden usarse en los insuficientes cardíacos que son significativamente sobrevalorados en su real consumo de O_2 máximo y con amplia disparidad según los rangos de capacidad funcional. Para realizar evaluaciones de programas de rehabilitación cardíaca en estos pacientes es preciso usar la medición directa. En los sedentarios son más compatibles ambos métodos.

Rev Fed Arg Cardiol 27: 207-213, 1998

Los estudios bajo ejercicio, en enfermedades cardiopulmonares, son un método eficaz e incruento y una modalidad de primera elección diagnóstica y evaluativa para diversas patologías. Cuantifican el tratamiento fisiátrico, farmacológico y quirúrgico y el entrenamiento físico (1,2,9,16,18,28).

La incorporación de tecnología que mide, en forma directa, respiración a respiración, el valor y volumen de los gases ventilados, la saturación de oxihemoglobina, la forma y carga de trabajo, muestra en forma constante la fisiología y fisiopatología en el esfuerzo físico, sumándose al electrocardiograma (ECG) y la clínica de ergometría clásica (15,17-19,21,35).

El VO_2 es la fracción de O_2 consumida por el metabolismo del músculo en movimiento. La capacidad máxima de los sistemas cardiovascular y pulmonar limita esta entrega de O_2 . Este límite funcional es el máximo consumo de O_2 orgánico o $VO_{2\max}$ (21-24) y se define cuando el VO_2 no aumenta con el aumento de la carga de trabajo.

Según el principio de Fick, y como fue demostrado hemodinámicamente, el $VO_{2\max}$ valoraría aproximadamente, en el ejercicio progresivo, el volumen minuto cardíaco (10-13,17).

Se puede estimar el $VO_{2\max}$ en forma indirecta, mediante fórmulas que dependen del nivel del ejercicio, en banda o bicicleta, del consumo basal de O_2 , de diversas constantes (4,6,20). Estos guarismos se vuelcan en tablas que, según peso, edad y esfuerzo, posibilitan extraer un valor indirecto del consumo de O_2 (la tabla de Fox y Naughton fue usada en este trabajo) (7,32).

El $VO_{2\max}$ indirecto puede ser calculado tanto en enfermos como en individuos normales, entrenados o no. Sin embargo, esta estimación puede traer errores que son de magnitud variable según las características del sujeto a estudiar y el grado de su capacidad funcional. Es nuestro objetivo, al comparar ambos métodos (directo e indirecto), tratar de evidenciar estos errores (3,5,30-33).

MATERIAL Y METODO

Es un estudio experimental de pruebas clínicas comparativas con evaluación por autocontrol, para medir la exactitud de un procedimiento diagnóstico (método indirecto), frente a otro considerado como patrón o gold standard (método directo) (34).

Se incluyeron 60 individuos, seleccionados por no padecer patología pulmonar según la clínica, Rx de tórax y espirometría previa. Fueron divididos en tres grupos: 20 individuos normales entrenados (E), 19 hombres y 1 mujer, con edad promedio de 27,70 años; 20 sedentarios normales (N), 16 hombres y 4 mujeres, con edad promedio de 46,75 años; y 20 pacientes con insuficiencia cardíaca por miocardiopatía dilatada (IC), 19 hombres y 1 mujer, con edad promedio de 47,10 años. Todos fueron estudiados con ergometría y test cardiopulmonar del ejercicio simultáneamente, con el mismo equipamiento y personal médico, en las mismas horas del día y en similares condiciones ambientales.

Medición directa. Se usaron neumotacógrafo y analizador de gases Medgraphic 2001 CPX-D con software provisto por la misma casa. Medida del VO_2 por célula de zirconio y CO_2 con célula de infrarrojo (2,25).

Todos los sujetos a estudiar fueron conectados a estos equipos a través de una pieza bucal que soporta un sistema prevent con las salidas individuales para el neumotacógrafo y el sensor de gases. Un clamp nasal obliga a la respiración bucal. Con un equipo Rhomicron 712 Moxi se mide la saturación de oxihemoglobina y el monitoreo del ECG. Ambos datos ingresan al software Medgraphic.

Medición indirecta. Con una computadora con programa Cardioex para ergometría, se registraron 3 derivaciones simultáneas: ev5, y, z de electrodos torácicos incluyendo la presión arterial, cálculo en mets y los datos clínicos (26,27).

En banda ergométrica se realizó un protocolo de trabajo igual para toda la población: escaleriforme continuo, de perfil triangular con incrementos de carga iguales, frecuentes y de poca magnitud para la exacta cuantificación del VO_{2max} (6,7,14,15) (Figura 1).



Figura 1. Protocolo de trabajo: escaleriforme continuo, de perfil triangular con incrementos de carga iguales, frecuentes y de poca magnitud, para la exacta cuantificación del VO_{2max}

En cada etapa del protocolo, se estimó el esfuerzo del sujeto simultáneamente en forma indirecta (en cc de O_2 por kg de peso, según los mets obtenidos) y directa (por medición de gases hasta alcanzar el VO_{2max}). El esfuerzo sólo se detiene por disnea o agotamiento (21,22,35).

RESULTADOS

Se tabularon todos los datos por rangos de capacidad funcional comparativamente en: entrenados, sedentarios normales y pacientes con ICC (Tablas I, II y III).

TABLA I

VALORES DE VO_{2M} TABULADOS COMPARATIVAMENTE EN LOS DOS METODOS EN SEDENTARIOS NORMALES. MEDIA DESVIO ESTANDAR. COEFICIENTE DE CORRELACION

n	Indirecto	Directo
1	24,50	22,00
2	24,50	23,00
3	24,50	23,30
4	24,50	23,00
5	24,50	20,00
6	28,00	24,00
7	28,00	26,50
8	28,00	27,30
9	28,00	23,00
10	28,00	22,60
11	31,50	28,00
12	31,50	28,00
13	31,50	30,00
14	31,50	28,60
15	31,50	28,00
16	35,00	33,50
17	35,00	30,50
18	35,00	32,00
19	38,50	34,00
20	38,50	33,00
Prom	30,10	27,02
DS	4,60	4,25

Coef de correl r= 0,94

TABLA II

VALORES DE VO_{2M} TABULADOS COMPARATIVAMENTE EN LOS DOS METODOS EN NORMALES ENTRENADOS. MEDIA DESVIO ESTANDAR. COEFICIENTE DE CORRELACION

n	Indirecto	Directo
1	35,00	35,00
2	35,00	33,00
3	35,00	33,00
4	42,00	41,20
5	42,00	44,40
6	42,00	42,00
7	45,50	50,20
8	45,50	47,20
9	49,00	51,00
10	49,00	51,00
11	52,50	53,00
12	52,50	54,50
13	56,00	56,00
14	56,00	63,00
15	59,50	61,00
16	59,50	64,00
17	63,00	67,50
18	63,00	65,00
19	66,50	70,00
20	66,50	70,00
Prom	50,75	52,60
DS	10,376	11,994

Coef de correl r= 0,99

TABL A III
VALORES DE VO_2 M TABULADOS COMPARATIVAMENTE
EN LOS DOS METODOS EN INSUFICIENTES CARDIACOS.
MEDIA, DESVIO EST ANDAR, COEFICIENTE DE
CORRELACION

<i>n</i>	<i>Indirecto</i>	<i>Directo</i>
1	14,00	13,30
2	14,00	11,80
3	14,00	12,00
4	14,00	13,10
5	17,50	15,00
6	17,50	14,50
7	17,50	14,00
8	17,50	12,30
9	17,50	12,00
10	17,50	14,00
11	21,00	13,30
12	21,00	14,00
13	21,00	14,50
14	21,00	18,20
15	21,00	18,40
16	21,00	16,20
17	24,50	16,40
18	24,50	16,80
19	24,50	20,30
20	28,00	24,50
Prom	19,425	15,23
DS	4,01	3,197

Coef. de correl. $r = 0,824$

Para resumir las medidas numéricas se usó la media y para la dispersión de éstas, el desvío estándar. La relación entre las dos variables se analizó por el coeficiente de correlación (Pearson). Se utilizó el test t de Student para significación estadística.

Se obtuvieron como valores totales $r: 0,99$ para normales entrenados; $r: 0,94$ para sedentarios normales; y $r: 0,824$ para pacientes con insuficiencia cardíaca (Figuras 2, 3, y 4).

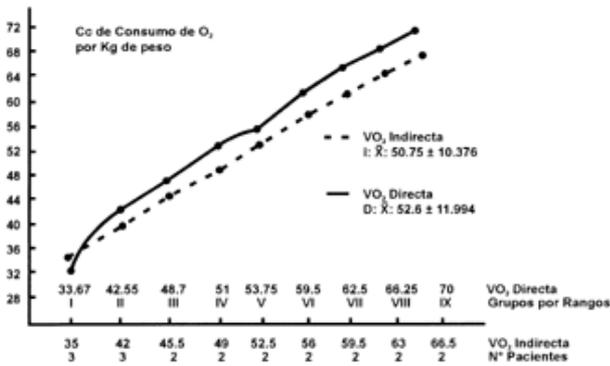


Figura 2. Normales entrenados. Curvas de valores de VO_2 max directo-indirecto por rangos.

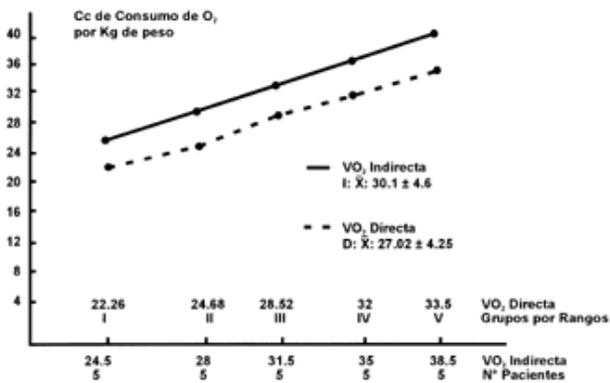


Figura 3. Sedentarios normales. Curvas de valores de VO_2 max por rangos, comparativo en ambos métodos.

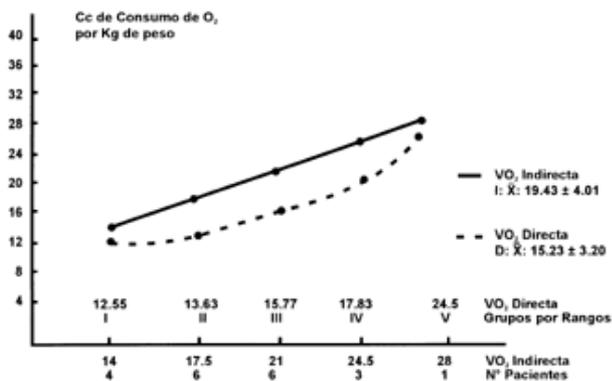


Figura 4. Insuficientes cardíacos. Curvas comparativas por rangos de $VO_{2\max}$ para ambos métodos.

DISCUSION

Para calcular la potencia aeróbica en banda ergométrica, cuando la captación de O_2 no se mide, se usa el peso del paciente y la velocidad e inclinación de la cinta. El nomograma de Astrand y sus factores de corrección fueron ampliamente usados (Astrand, 1966) (30). La medición directa del VO_2 , en este caso, Astrand la realizó con el método del volumen total, recogiendo las muestras del gas espirado en sacos de Douglas. Esta forma de obtención de muestra es lenta y dificultosa, requiriendo tiempos largos para la medición del volumen en espirómetros y el análisis de los gases. Estos valores tienen errores del 15% en sujetos sanos (Pollock y col, 1990) (23). Siguiendo esta línea de investigación, otros autores precisaron fórmulas de costo energético en la marcha y en la carrera de práctica aplicación.

Desde la pasada década y durante la actual, a través de los excelentes trabajos sobre fisiología y fisiopatología del esfuerzo físico de autores como Jones, Wasserman, Hansen, Sue, Casaburi, Weisman, Zeballos, Zavala, Cooper y otros, hemos profundizado enormemente estos conocimientos (1-3,9,36-39). Todo ello no se hubiera logrado sin que la nueva tecnología de analizadores de gases y neumotacógrafos de rápida respuesta alcancen la exacta medición de las variables durante el test de ejercicio y su adquisición por sistemas expertos de computación (36).

En nuestro trabajo se observa una correlación en los valores numéricos obtenidos por ambos métodos de cuantificación del $VO_{2\max}$: directo (con la tecnología explicitada) e indirecto (con fórmulas) en todos los rangos, en normales y entrenados.

Sin embargo, cuando se analiza con mayor profundidad y de acuerdo con los resultados obtenidos en nuestra población, el método indirecto supervalora siempre la capacidad aeróbica ($VO_{2\max}$) en los sedentarios normales. Por el contrario, en los entrenados el método indirecto infravalora la verdadera capacidad aeróbica, a excepción del grupo de menor rango. Se verifica, además, que este grupo tiene el mayor desvío estándar, marcando la magnitud de la dispersión de valores.

La supervaloración del $VO_{2\max}$ por el método indirecto es constante en la medición de los pacientes con insuficiencia cardíaca, mostrando en los rangos intermedios la mayor diferencia con el método directo (significación estadística: $p: 0,001$) (test t de Student). Por lo contrario, en estos pacientes la correlación es mayor en los rangos extremos de capacidad funcional. En los pacientes con insuficiencia cardíaca más graves, porque la pobre capacidad funcional no alcanza a separar los valores de ambas determinaciones. En los insuficientes de mayor capacidad aeróbica, porque su medida del consumo de oxígeno máximo se acerca al $VO_{2\max}$ de los sedentarios.

CONCLUSIONES

El análisis de la utilización simultánea de ambos métodos nos permite arribar a las siguientes conclusiones:

Entrenados. Ambos métodos tienen buena correlación, pero la necesidad de exactitud en el valor del $VO_{2\max}$ hace que la medición directa sea la que muestre su real determinación.

Sedentarios normales. Si bien el método indirecto supervalora el $VO_{2\max}$, la buena correlación hace factible su empleo.

Pacientes con insuficiencia cardíaca. Tres conceptos surgen claramente en estos pacientes: a) es poco seguro aplicar la medición indirecta por la falta de correlación con los valores exactos del $VO_{2\max}$, más aún cuando se valora rehabilitación cardíaca; b) la disparidad es mayor en los cardíacos de mediana capacidad funcional; c) los pacientes con menor y mayor capacidad aeróbica muestran la menor diferencia entre ambos métodos.

SUMMARY

COMPARISON BETWEEN THE DIRECT MEASUREMENT OF MAXIMUM OXYGEN CONSUMPTION IN THE CARDIOPULMONARY EXERCISE TEST AND THE INDIRECT METHOD IN ERGOMETRY

Introduction: It is currently accepted that direct measurement of maximum oxygen uptake ($VO_{2\max}$) during graded cardiopulmonary exercise test is considered the non invasive optimal method for quantifying functional status and its modification by surgical, medical and kinetic treatment.

Objectives: The indirect measurement of $VO_{2\max}$ obtains through formulas based on tables according to age, weight and ergometric effort (Fox and Naughton) keeps good correlation with the direct method, but in special circumstances we shall try to demonstrate that it could lead to errors.

Material and methods: Sixty subjects, 20 normal trained, 20 normal sedentary and 20 patients with compensated congestive heart failure, secondary to dilated cardiomyopathy, subjected to cardiopulmonary exercise test with direct measurement of maximum oxygen uptake with a Medgraphic 2001 CPXD equipment and simultaneously indirect measurement with computerised ergometry, Cardiovox programme, were studied.

The exercise protocol was similar for the 3 groups: in treadmill, with continuous increments, 1 mets each 90 seconds. All the patients and normal subjects were submitted to spirometric test that did not show alterations, important enough to

be excluded from this protocol.

The relationships were assessed through methods based in ranges. Coefficient of correlation (Pearson) and Student *t* test for paired groups.

Results and discussion: See Tables I, II and III. See Figures 1, 2, 3, and 4. According to the results in our series, the values of $VO_2 \text{ max}$ obtained through the direct method in cardiopulmonary exercise test compared with the indirect method, correlate well. Coefficient of correlation (Pearson), normal sedentary subjects: r 0,94; normal trained subjects: r 0.99; and dilated cardiomyopathy: r 0.824.

Notwithstanding, in normal sedentary subjects the indirect method slightly overestimates the values of direct method. In normal trained subjects underestimates it.

In patients with compensated heart failure secondary to dilated cardiomyopathy, the indirect method significantly overestimates the measurements of $VO_2 \text{ max}$, specially in the intermediate ranges: $p = 0.001$.

Conclusions: The indirect method should not be used in patient with congestive heart failure in whom exercise rehabilitation programme is prescribed because significantly overestimates the truly $VO_2 \text{ max}$ (direct method), specially in the intermediate ranges.

Both methods are compatible in normal sedentary and normal trained subjects, although the indirect method is not of accurate quantification.

Bibliografía

1. Wasserman K, Hansen J, Sue D: Principles of exercise testing and interpretation. Lea & Febiger, Philadelphia, 1987.
2. Wasserman K, Sue D: Predicted values for clinical exercise testing. Rev Respiratory Dis 129 (Suppl): S35-S40, 1984.
3. Jones N, Mokrides Y col: Normal standard for an incremental progressive cycle ergometer test. Am Rev Respir Dis 131: 700-708, 1985.
4. Lang-Anderson, Shephard y col: Fundamentals of exercise testing. World Health Organization, Geneva, 1971.
5. Bruce R, Kusumi F y col: Maximal oxygen uptake in nomographic assessment of the functional aerobic impairment in cardiovascular disease. Am Heart J 85: 546-572, 1973.
6. Froelicher V, Davis G: A comparison of the reproducibility and physiologic response to three maximal treadmill protocols. Chest 65: 512-517, 1974.
7. Naughton J, Patterson J y col: Treadmill exercise in assessment of the functional capacity of patient with cardiac disease. Am J Cardiol 30: 757-762, 1972.
8. Saltin B, Karlsson J, Diamant B: Muscle metabolites during submaximal and maximal exercise in men. Scan J Clin Lab Invest 26: 385-394, 1970.
9. Zabala DC: Exercise testing: a training handbook. Iowa Publication order Dept., University of Iowa, Iowa City, 1987, 2nd ed., pp 12, 13, 18, 37, 38.
10. Franciosa J, Leddy C, Wilen M y col: Relation between hemodynamic and ventilatory responses in determining exercise capacity in severe congestive heart failure. Am J Cardiol 53: 127-134, 1984.
11. Roberts J, Sullivan M, Froelicher V y col: Predicting oxygen uptake from treadmill testing in normal subjects and coronary artery disease patient. An Am J 108: 1454-1460, 1984.
12. Weber K, Wilson J, Janicki J y col: Exercises testing in the evaluation of the patient with chronic cardiac failure. Am Rev Resp Dis 129: S60-S62, 1984.
13. Saltin B, Hermanson L: Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle testing. J Appl Physiol 26: 31-37, 1969.
14. Myers J, Buchanan M y col: Comparison of the ramp versus standart exercise protocols. J Am Coll Cardiol 17: 1334-1342, 1991.
15. Froelicher V, Thompson A, Noguera I: Prediction of VO_2M : comparisson of the Bruce and Balke treadmill protocols. Chest 68: 331-336, 1975.
16. Rochmis P, Blackburn H: Exercise test: a survey of procedure, safety and litigation experience in approximately 170,000 test. JAMA 217: 1061, 1971.
17. Stochenfeld N, Eskenazi M, Gleim G y col: Predictive accuracy of criterio used of assess maximal oxygen consumption. Am Heart J 123: 922, 1992.
18. Weber K, Janicki J: Cardiopulmonary exercise testing: physiologic principles and clinical applications. W B Saunders, Philadelphia, 1986, 3er. ed.
19. Ellestad M: Stress testing: principles and practice. F A Davis, Philadelphia, 1986, pp 153.
20. Ellestad M, Allen W, Wan M y col: Maximal treadmill stress testing for cardiovascular. Circulation 39: 517-522, 1969.
21. Walsh D, Myers J, Buchanan N y col: Can maximal cardiopulmonary capacity be recognized by a plateau in oxygen uptake? Chest 96: 1312-1316, 1989.
22. Myers J, Sullivan M: Effect of sampling on variability and plateau in oxygen uptake. Appl Physiol 68: 404-410, 1990.
23. Pollock M, Wilmore J: Exercise in health and disease. W B Saunders, Philadelphia, 1990, 2nd ed.
24. Myers J, Froelicher V: Hemodinamic determinants of exercise capacity in chronic heart failure. Ann Intern Med 115: 377-386, 1991.
25. Meyer J, Mattios A, Sam D, Helmut W: VO_2 kinetics in patients with heart failure and normals. Relationship to O_2 transport and utilization. Herz Zentrum Bad Krozingen. Germany 38: 123-142, 1995.
26. Meyer J, Eberhard G, Sam D, Helmut W: It is possible to estimate cardiac output by oxygen uptake at ventilatory threshold? Herz Zentrum Bad Krozingen. Germany 38: 233-245, 1995.
27. Cohn J, Rector T: Prognosis of congestive heart failure and predictor of mortality. Am J Cardiol 108: 111-121, 1988.
28. Myers J, Froelicher V: Optimizing the exercise test for pharmacological investigations. Circulation 82: 1839-1846, 1990.
29. Cohn J: Qualitative testing for the cardiac patient: the value of monitoring gas exchange. Circulation 76 (Suppl VI): VI1-VI2, 1987.
30. Astrand P: Experimental studies of phisical working capacity in relation to sex and age. Kopenhagen Acta Physiol

Scand 49 (Suppl 169), 1966.

31. Astrand P: A nomogram for calculation of aerobic capacity. J Appl Physiol 7: 218, 1964.

32. Naughton J, Haider R, Kellerstein J: Methods of exercise testing. Am J Cardiol 87: 101-132, 1973.

33. Bruce R, Kusumi F: Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. Am Heart J 86: 546, 1973.

34. Dawson y Saunders: The instruction of biostatistics in Medical School. Am Stat Pg: 14-16, 1987.

35. Balbarrey H, Puig J, Pollice J, Ciafardoni P, Cerri M, Poy C: Comparación entre la clasificación funcional de la New York Heart Association, la escala de actividad específica y el consumo máximo de oxígeno en la evaluación funcional de pacientes con miocardiopatía dilatada. Rev Fed Arg Cardiol 26: 77-84, 1997.

36. Sue D, Hansen J, Blais M y col: Measurement and analysis of gas exchange during exercise using a programmable calculator. J Appl Physiol 49: 456-460, 1980.

37. Casabury-Petty: Principles and practice of pulmonary rehabilitation. W B Saunders, Philadelphia, 1993.

38. Cooper KH: A mean of assessing maximal oxygen intake. JAMA 203: 138, 1986.

39. Weisman I, Zeballos J: Clinical exercise testing. Clinics in Chest Med 15: 173-447, 1994.

[Tope](#)

[Sumario](#)

[Index Revista](#) - [Index FAC](#)

Publicación: Junio 1998

©1994-2005 CETIFAC  Bioingeniería UNER. Reservados todos los derechos.

Webmaster Actualización: Dic-2004