

## EL TEST DE TOLERANCIA AL EJERCICIO EN NEUMOLOGIA

<https://doi.org/10.35954/SM2000.22.1.5>

**Dr. Roberto López Soto**

*Profesor Agdo. de la Facultad de Medicina*

**Dra. María V. López Varela**

*Prof. Adj. Lab. Expl. Func. de la Cátedra de Neumología*

---

### RESUMEN

**PALABRAS CLAVE:** *Capacidad funcional ergométrica, potencia desarrollada, capacidad funcional aeróbica, equivalente metabólico, limitación del ejercicio, reserva respiratoria, reserva cardíaca.*

En nuestro país el test de ejercicio fue subutilizado en el estudio de los enfermos con afecciones respiratorias en clara diferencia a lo que ocurre con los pacientes cardiológicos. En realidad, prevaleció el concepto de que se trata de una prueba de gran complejidad, alto costo y larga duración. Para demostrar lo erróneo de esta posición, se efectúa una revisión sobre sus fundamentos, instrumentación y utilidad del test. Se seleccionó una prueba simple no invasiva, basada en la determinación de la capacidad ergométrica de modo similar al estudio del metabolismo miocárdico que realizan los cardiólogos. Se evalúan los síntomas que obligan a detener el ejercicio y se miden las variaciones fisiológicas que los acompañan. Esto permite elaborar diferentes patrones funcionales que corresponden a la insuficiencia de los diferentes sistemas que se integran durante el ejercicio.

En contraste con las pruebas espirométricas el ejercicio permite descubrir cambios tempranos en la función pulmonar. Por lo tanto el test debe ser indicado en forma precoz. Su utilización tardía cuando el paciente sólo puede realizar un esfuerzo menor, agrega poco al estudio basal. Una elección adecuada del incremento de la carga permite cumplir la prueba en un intervalo de 8 a 12 minutos de duración. Al final se seleccionaron algunos ejemplos que muestran el encare de diferentes afecciones o situaciones clínicas anormales. El procedimiento en general es seguro, siempre que se cumplan las contraindicaciones para su realización y las indicaciones para su terminación. El método propuesto es un modelo de diagnóstico fisiopatológico de fácil aplicación en la práctica clínica. Su utilización aumenta la seguridad diagnóstica desde el punto de vista cuantitativo (tolerancia para el ejercicio) y cualitativo (identificación de la causa que limita el mismo).

### SUMMARY

**KEYWORDS:** *Ergometrical functional capacity, power output, aerobic functional capacity, metabolic equivalents, exercise limitation, respiratory reserve, cardiac reserve.*

In our country the exercise test for the study of patients with respiratory disorders was underused. This is clearly different if compared with what happens to cardiac patients. In fact, it prevailed the conception of a great complexity, high cost and long duration test. In order to demonstrate how wrong is that position, it is performed a review on its basis, instrumentation and utility. It was selected a simple test based on the determination of ergometrical capacity, which is similar to maximum symptom-limited progressive exercise in a calibrated cicloergometer.

The ergometrical functional capacity is measured and the aerobic functional capacity is estimated. Symptoms that lead to stop the exercise are assessed and the physiological variations that accompany them are measured. This allows to elaborate different functional patterns correlated to the impairment of different systems included during the exercise. In contrast with spirometrical tests the exercise allows to detect early changes in pulmonary function. Therefore, this test must be precociously indicated. If it is used late, when the patient can make only minor efforts, it will not add much to the basal study. An adequate choice of the charge increment allows to perform the test in an interval of 8 to 12 minutes of duration. Finally, some examples that show the approach to different disorders or abnormal clinical situations were selected. The general procedure is safe if either the execution contraindications or the indications for its completion are followed.

## I. INTRODUCCION

La disnea de esfuerzo y la disminución de la tolerancia al ejercicio, son las consecuencias más importantes en las enfermedades respiratorias crónicas como la EPOC, el asma con obstrucción persistente y las afecciones pulmonares intersticiales evolutivas. La pérdida de la capacidad funcional provoca un aumento de la morbilidad y una disminución en la calidad de vida de estos enfermos.

El médico en esta situación para evaluar la repercusión funcional, estudia la sintomatología y efectúa el examen clínico de los pacientes. Una evaluación más formal se obtiene determinando el grado de disnea, de acuerdo a la actividad desarrollada. Sin embargo estas apreciaciones son incompletas, no son objetivas y no detectan la repercusión subjetiva de la disnea sobre el paciente.

Los tests de función pulmonar (TFP) en condiciones basales aportan importante información sobre la capacidad de estos pacientes. En general se puede concluir que si las pruebas basales están poco afectadas, la incapacidad es poco probable y si están severamente disminuidas la incapacidad es inevitable.

El problema es conocer la aptitud física cuando la alteración funcional es moderada y el paciente acusa disnea y una intolerancia importante para el ejercicio. En estos casos la American Thoracic Society (ATS) aconseja realizar un test de ejercicio (1).

La recomendación se basa en que el resultado de las pruebas funcionales explican solamente el 60% de los casos de intolerancia al ejercicio (2). Esta falta de predicción se debe a la frecuente asociación de otras causas no respiratorias de limitación, como el desacondicionamiento físico, falta de motivación, mal estado de nutrición, cardiopatía isquémica o arteriopatía periférica (3).

La realización de un test de tolerancia al ejercicio (TTE) es muy útil porque proporciona información que no puede lograrse en condiciones basales. En efecto, las afecciones pulmonares citadas reducen la reserva funcional del sistema respiratorio para responder a un aumento de la demanda. Sin embargo, la reserva es tan grande, que es necesario una pérdida muy importante de la función, para que la enfermedad se manifieste en condiciones basales. El ejercicio aumenta las demandas metabólicas y produce una sobrecarga funcional que permite apreciar la capacidad de respuesta del organismo.

En el diagrama de la figura 1, se representa en la ordenada la capacidad física de una persona para cumplir las actividades de la vida diaria. En la abscisa la reserva funcional cardiorespiratoria. La forma de la curva demuestra que cambios importantes de la función tienen poca repercusión sobre la capacidad, a menos que se realice un ejercicio extraordinario o las reservas funcionales estén muy disminuidas (4).

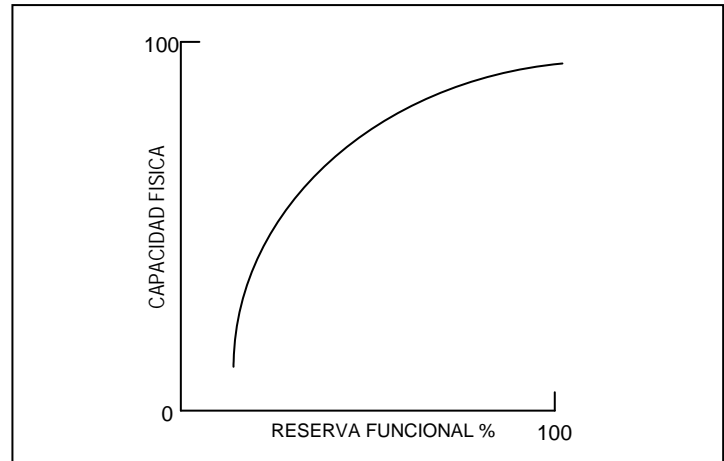


FIGURA 1

Muestra que la relación entre insuficiencia e incapacidad es compleja. La representación gráfica tiene una forma convexa, con una parte superior aplanada, donde cambios importantes de la función no repercuten mayormente sobre la capacidad física del paciente. (modificada de Jones) (6).

De este modo el ejercicio es simplemente una sobrecarga fisiológica que permite descubrir una anomalía cardiorespiratoria o muscular que no es evidente en condiciones basales y demostrar el carácter orgánico de los síntomas (5-8).

## II. INDICACIONES

El TTE está dirigido a determinar el grado de incapacidad del sujeto y al mismo tiempo identificar cual es el sistema - en particular respiratorio o cardiovascular - que disminuye su capacidad. Cuando varios desórdenes coexisten, el test puede discernir la importancia de cada una en particular y hacer entonces más específica la terapéutica.

El TTE es una prueba fisiológica y por lo tanto solo mide cambios funcionales. De este modo puede detectar la insuficiencia de varios sistemas, la incapacidad y la razón de la invalidez de un sujeto. En cambio no tiene en general una respuesta patognómica, para el diagnóstico etiológico. Hacen excepción la cardiopatía isquémica, el asma inducido por el ejercicio, la disnea psicógena, la arteriopatía periférica y la miopatía mitocondrial. Sin embargo, la frecuencia de una respuesta anormal aunque no específica del TTE es tan frecuente en ciertas afecciones, que su normalidad excluye el diagnóstico de esas entidades. Es el caso de la EPOC, enfermedades intersticiales del pulmón, hipertensión vascular pulmonar, la cardiopatía valvular y miocardiopatías.

A continuación se resumen los principales beneficios que pueden obtenerse por el uso del TTE en los pacientes con trastornos respiratorios:

- Medir la capacidad funcional y la tolerancia al ejercicio
- Estudiar y cuantificar los síntomas que invalidan al paciente

- Determinar la naturaleza orgánica o funcional de los síntomas
- Identificar las causas que limitan el ejercicio, en especial los factores cardiopulmonares.
- Detectar una desaturación arterial durante el esfuerzo y poder indicar con rigurosidad la oxigenoterapia ambulatoria.
- Formular un plan de ejercicios apropiado y seguro para cumplir dentro de un plan de rehabilitación respiratorio.
- Controlar la efectividad del tratamiento, ya sea médico, físico o quirúrgico.
- Diagnosticar el broncoespasmo inducido por el ejercicio.
- Evaluar el riesgo quirúrgico de la cirugía mayor y de la pulmonar en particular.
- Justipreciar la incapacidad en relación a una compensación laboral o formular un plan de tareas en relación a la capacidad física real del trabajador.
- Descubrir la asociación de una enfermedad cardíaca o una arteriopatía de los miembros inferiores

### III. LA CAPACIDAD FUNCIONAL ERGOMETRICA

En cualquier prueba de esfuerzo es fundamental la cuantificación del trabajo realizado ya sea en términos absolutos, o relativos al máximo teórico posible para el sujeto (4).

La actividad muscular genera un trabajo que puede ser medido en unidades de trabajo mecánico (9). La contracción muscular engendra una fuerza. Esta es igual al producto de la masa por la aceleración. La fuerza que acelera una masa de 1 kg a razón de  $1\text{m por s}^2$ , es igual a un Newton (N) o unidad de fuerza del sistema MKS.

La fuerza desarrollada por una contracción muscular isotónica desplaza su punto de aplicación, provocando un movimiento (ejercicio dinámico). En este caso se genera un trabajo mecánico que es igual al producto de la fuerza por la distancia recorrida. El trabajo realizado cuando la fuerza de un N actúa a lo largo de 1m, es igual a un Julio (J) o unidad de trabajo.

Para cumplir un trabajo muscular se necesita un tiempo determinado. La potencia mecánica es la cantidad de trabajo (WR) realizado en la unidad de tiempo (WR/t). El trabajo de un J generado en un segundo (s) es igual a un Vatio (V).

Otra unidad de potencia es el Kilopondio metro-minuto (Kpm/m), que es la cantidad de trabajo necesario para levantar una masa de 1kg a un metro de altura contra la fuerza de gravedad, en un minuto. 100 Kpm equivalen a 16,3V o un V es igual a 6,12 Kpm/m.

La medida de la cantidad de trabajo producido o potencia realizada (WR) en un ciclo ergómetro calibrado, es una medida segura de la capacidad funcional para el ejercicio (4). En efecto, la característica esencial de un cicloergómetro, es una rueda o volante cuyo movimiento está limitado por una carga aplicada por medio de una cinta de freno o un dispositivo electromagnético. La

cantidad de trabajo obtenido depende de la carga que frena la rueda, multiplicada por la distancia que esta recorre en la unidad de tiempo. El recorrido es igual a la circunferencia del volante por el número de revoluciones por minuto. Si este se mantiene constante, las variaciones de la potencia dependen exclusivamente de la carga aplicada.

La predicción de la máxima capacidad ergométrica se basa en la edad, sexo y altura de acuerdo a las siguientes ecuaciones exponenciales:

$$\text{HOMBRES: } WR_{\text{MAX}} (\text{Kpm}) = 2521 \text{ ALT}^{1.78} \times \text{EDAD}^{-0.46} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\text{MUJERES: } WR_{\text{MAX}} (\text{Kpm}) = 1775 \text{ ALT}^{1.78} \times \text{EDAD}^{-0.46} \quad (\text{Ec.2})$$

(En donde se expresan, WR en Kpm, altura en metros, edad en años,  $r^2 = 0.971$ ) (4).

Como los tests de función pulmonar, la prueba de ejercicio se refiere a los valores normales obtenidos en sujetos sanos. Estos valores dependen de las características biométricas de la población estudiada y de la metodología empleada. La disponibilidad de valores de referencia apropiados mejoran la calidad del test (4).

La comparación del valor del WR medido en comparación al máximo teórico, permite establecer la magnitud relativa de la potencia máxima obtenida o la capacidad para el ejercicio del sujeto. Se considera que la precisión de los valores predichos igual que la de otros medidas fisiológicas es de  $\pm 20\%$  (2 desviaciones estándar) (4).

### IV. LA CAPACIDAD FUNCIONAL AEROBICA

El funcionamiento apropiado de la célula muscular requiere un flujo continuo de energía durante el ejercicio. Existe una relación directa entre la tensión o el acortamiento desarrollado por el músculo, la hidrólisis de la adenosina trifosfato (ATS) y la cantidad de  $\text{O}_2$  consumido ( $\text{VO}_2$ ) (6).

La determinación del consumo de  $\text{O}_2$  ( $\text{VO}_2$ ) permite evaluar el requerimiento energético para cumplir un trabajo muscular determinado. El  $\text{VO}_2$  aumenta en forma lineal con el ejercicio y mide la intensidad del mismo (Fig. 2) (10-11). De este modo la captación máxima de  $\text{O}_2$  ( $\text{VO}_{2\text{MAX}}$ ) se utiliza para medir la capacidad funcional para el ejercicio (1, 3-5).

El  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$  representa la mayor cantidad de  $\text{O}_2$  que un sujeto puede transportar y utilizar durante la ejecución de un ejercicio máximo (11-15). Se determina por análisis del gas espirado o se estima a partir de la potencia desarrollada en un cicloergómetro calibrado (4, 19).

El aumento del  $\text{VO}_2$  para un trabajo muscular en condiciones aeróbicas es totalmente predecible. La relación  $\Delta\text{VO}_2/\Delta\text{WR}$  refleja la cantidad de  $\text{O}_2$  consumido por la cantidad de trabajo producida. Es igual a 10 ml de  $\text{O}_2$  por cada vatio generado (7). Cuando disminuye el aporte de  $\text{O}_2$  a los músculos en actividad, la relación es

menor porque el metabolismo aerobio es completado por el anaerobio (6).

Los valores de predicción para el  $VO_{2MAX}$  se relacionan con la edad, género y altura.

Nosotros seleccionamos las siguientes ecuaciones exponenciales:

HOMBRES:  $VO_{2MAX} (L/m) = 5.14 ALT^{1.18} \times EDAD^{-0.49}$  (Ec.3)

MUJERES:  $VO_{2MAX} (L/m) = 3.55 ALT^{1.18} \times EDAD^{-0.49}$  (Ec.4)

Altura en metros, edad en años,  $r^2=0.969$  (4)

El  $VO_2$  se expresa en litros o mililitros/min o se normaliza de acuerdo al peso corporal en  $ml O_2/kg/m$ .

La capacidad funcional aeróbica es normal como la ergométrica cuando el  $VO_{2MAX}$  obtenido es mayor del 80% del valor predicho (4).

Valores disminuidos de las capacidades funcionales ergométricas o aeróbicas se encuentran en sujetos poco motivados, sedentarios o con afecciones circulatorias, respiratorias, neuromusculares, de la sangre o trastornos metabólicos generales.

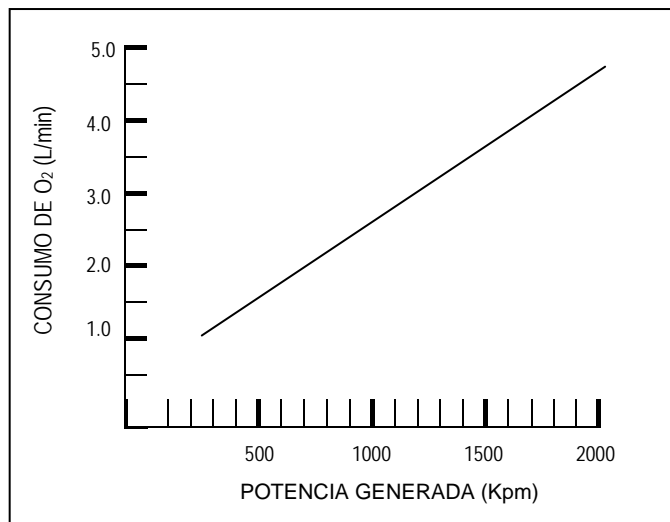


FIGURA 2  
 Durante un ejercicio progresivo en un cicloergómetro el  $VO_2$  guarda una relación lineal con la potencia del trabajo generado (de acuerdo a Asmussen) (11).

## V. EL EQUIVALENTE METABOLICO

Otra unidad de potencia para medir el trabajo externo desarrollado durante un ejercicio dinámico es el MET.

Este se define como un múltiplo del  $VO_2$  requerido para mantener las exigencias metabólicas en condiciones basales (4,16). De acuerdo a ello para un sujeto normal de 70 kilos de peso el  $VO_2$  basal corresponde a 250 ml/m o al valor normalizado de 3.5 ml/k/m. Este valor no se calcula para cada individuo, sino que se asume esta cifra media de modo universal. Si el valor del  $VO_{2MAX}$  es de 2100 ml/m en una persona de 60 K de peso; su correspondencia en METs es igual a  $2100/3.5 \times 60$  o sea  $2100/210=10$  METs.

En la tabla 1 de la American Heart Association (AHA) (16), aparecen los valores del  $VO_{2MAX}$  de acuerdo a la edad y al género, expresados en ml/k/m, relacionados con los equivalentes metabólicos correspondientes en METs.

EDAD	HOMBRE	MUJER
20-29	43±7.2 12 METs	36±6.9 10 METs
30-39	42±7.0 12 METs	34±6.2 10 METs
40-49	40±7.2 11 METs	32±6.2 9 METs
50-59	36±7.1 10 METs	29±5.4 8 METs
60-69	33±7.3 9 METs	27±4.7 8 METs
70-79	29±7.3 8 METs	27±5.8 8 METs

Tabla 1: El valor del  $VO_{2MAX}$  se expresa en ml/kg/m. Por lo tanto su equivalencia en METs se obtiene dividiendo ese valor por 3.5.

Existen numerosas tablas con los costos metabólicos de numerosas actividades ocupacionales de acuerdo a la capacidad aeróbica del sujeto y se puede estructurar un plan de actividades físicas seguras para estos pacientes (4,17-18).

Los METs son muy empleados para evaluar la intensidad de los programas de entrenamiento. El concepto del MET es útil para la comunicación con pacientes y técnicos, que pueden comprender mejor el resultado del test de ejercicio y la prescripción en la intensidad del entrenamiento (4).

A continuación se muestran algunos valores claves del ejercicio máximo que tienen un significado clínico relevante de acuerdo con la AHA (16).

- 1 MET = reposo
- 2 METs = camina en lo llano 3.2 Kph
- 4 METs = camina en lo llano 6.4 Kph
- 5 METs = pico de actividad diaria normal (admite cirugía resección pulmonar)
- 6 -7 METs = camina en lo llano 8 Kph
- 7 - 8 METs = trota 8.0 Kph
- 10 METs = puede correr o trotar 1 K en 6min. Apto para cualquier tarea
- 18 METs = atleta en entrenamiento
- 20 METs = atleta de 1ª clase

## VI. EQUIPOS PARA EL EJERCICIO

En la práctica se utilizan 2 instrumentos: el cicloergómetro y el treadmill. La diferencia en la respuesta fisiológica obtenida con ambos aparatos no es grande. En el último el  $\text{VO}_2$  y la frecuencia cardíaca (fc) son mayores y la ventilación y la PA son más elevadas en el cicloergómetro. Por lo tanto el doble producto (fcx PA) es semejante y los cambios electrocardiográficos son iguales (4).

La bicicleta es menos costosa, ocupa menos lugar y es silenciosa. Como el tronco queda inmóvil permite medir con mayor facilidad las variables fisiológicas. En los modelos mecánicos el pedaleo debe mantenerse alrededor de 60 cicl/min. Esto a veces es difícil en sujetos poco colaboradores o fatigados. Para subsanar este inconveniente se utilizan bicicletas electromecánicas, que corrigen automáticamente la resistencia de acuerdo a la variación del pedaleo. Así se mantiene un nivel de trabajo constante con una variación de la velocidad entre 40 - 80 cicl/min La potencia alcanzada en el cicloergómetro es independiente del peso del sujeto y el aparato puede ser calibrado directamente en unidades de trabajo producido (4,16,19).

Cuando se mide en un cicloergómetro de precisión el nivel de trabajo máximo, la determinación de la

capacidad funcional es más exacta que el  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$ . El  $\text{WR}_{\text{MAX}}$  refleja ambos componentes - aeróbico y anaeróbico - del metabolismo muscular durante la contracción dinámica que produce el ejercicio corporal.

Por lo contrario el  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$  no engloba toda la energía empleada en el ejercicio, porque no toma en cuenta la generada a partir del a. láctico. Esta energía anaeróbica es muy importante cuando se alcanza un alto nivel de ejercicio muscular, aunque también existe evidencia que la producción de lactato por el músculo ocurre a todo nivel de ejercicio y la diferencia sería aún mayor (19).

Como existe una relación lineal durante la cicloergometría, entre la potencia máxima y el  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$  ( $r^2=0.95$ ), no es esencial la determinación de este último y su valor es estimado a partir del pico de intensidad del trabajo realizado (4). Para ello se utiliza la ecuación:

$$\text{VO}_2 (\text{ml/min}) = 3.5 \times \text{peso corporal (Kg)} + 1.8 \times \text{potencia en kilopondios (Ec.5)} (19).$$

En la ecuación 5: 3.5 x peso, expresa el  $\text{VO}_2$  en reposo y el otro sumando el aumento del  $\text{VO}_2$  por unidad de incremento de la cantidad de trabajo.

La estimación de  $\text{VO}_{2\text{MAX}}$  a partir del trabajo máximo alcanzado como se realiza en cardiología simplifica la prueba y permite su utilización más frecuente en la práctica neumológica.

Del estudio en el treadmill no es fácil predecir con seguridad el  $\text{VO}_2$  como cuando se utiliza el cicloergómetro, porque la cantidad de trabajo generado depende de la velocidad de la cinta transportadora, la inclinación de la plataforma, el peso del sujeto, el tipo de marcha y del uso de las barandas (19). El aparato tiene el inconveniente que no es controlado por el paciente y se pueden producir accidentes traumáticos. Además las variables fisiológicas estudiadas no se registran fácilmente con el cuerpo en movimiento.

Por todas estas características, a pesar de que teóricamente la marcha en el treadmill es "más fisiológica" que el pedaleo en una bicicleta, preferimos el cicloergómetro para realizar un estudio de rutina en los enfermos respiratorios.

El principal inconveniente del cicloergómetro en la práctica, es la dificultad de mantener una correcta calibración.

El resto del equipo necesario para el TTE es en su mayoría de uso corriente en un laboratorio de función respiratoria y se detalla a continuación:

- circuito de recolección de gases: pinza nasal, pieza bucal, válvula respiratoria, tubo corrugado, bolsa de Douglas;
- dispositivos para medir la ventilación: contador de gas, espirómetro de Tissot o neumotacómetro para registro de la respiración.

- oxímetro de pulso
- esfingomanómetro
- electrocardiógrafo
- defibriloscopio.

## VII. PROTOCOLO

Se realiza un ejercicio progresivo máximo limitado por síntomas. La carga utilizada varía entre 5 y 25 vatios, y se incrementa cada minuto hasta la extenuación del sujeto o por la aparición de signos que pongan en peligro la vida del paciente (4,10,15,17,19-21).

La ventaja de fijar los incrementos cada minuto, es que el protocolo se puede instrumentar durante ese lapso, en un cicloergómetro mecánico con toda comodidad.

El valor de la carga depende del estado físico siendo menor en los más incapacitados o de edad más avanzada. Si se utilizara una carga única, el esfuerzo puede ser inadecuado para un sujeto y máximo para otro. En general se aumenta la potencia en 5V en los casos severos y 25V en los menos afectados. La magnitud de los incrementos se calcula a partir de la potencia máxima teórica, que se reduce en forma empírica de acuerdo a la actividad física del enfermo. El valor asumido se divide por 10, debido a que se considera en 10 minutos la duración óptima del test (15). De este modo el paciente no se fatiga prematuramente, ni el desarrollo del test se prolonga en forma innecesaria.

Antes del comienzo del TTE se debe explicar al enfermo como comunicarse durante la realización del mismo por medio de signos manuales, debido a que no puede hablar durante el ejercicio.

El ejercicio se realiza en un cicloergómetro calibrado. Durante el desarrollo de la prueba se estudian los síntomas que aparecen durante el esfuerzo y se miden las variables seleccionadas en cada intervalo y al final del test (4). El ejercicio es precedido por 3' de pedaleo sin carga y lo mismo se repite, durante igual periodo al terminar la prueba (10). Inmediatamente de retirada la pieza bucal se interroga al paciente sobre la percepción del motivo que causó el fin de la prueba.

El monitoreo de la PA y del ECG se continua durante varios minutos luego de terminado el test. Si se sospecha una broncoconstricción inducida por el ejercicio, se realiza una espirometría antes de la prueba y se repite a intervalos regulares a partir de los 5' de terminada.

De este modo empleando un sistema de medidas fisiológicas básicas el test progresivo máximo es muy útil para evaluar la tolerancia al ejercicio y el patrón de respuesta al aumento de la carga. El TTE comienza a un nivel bajo de trabajo que no requiere emplear en forma brusca una fuerza importante. De este modo no se sobrecarga de entrada el corazón, los pulmones ni las grandes masas musculares de los miembros. Esto permite registrar durante un período útil la respuesta de

estos órganos de servicio sin extender de manera excesiva la prueba (22).

## VIII. COMPLICACIONES SECUNDARIAS AL TTE

Aunque el TTE se considera un procedimiento seguro, existen situaciones peligrosas que pueden causar complicaciones durante la prueba. Se reconoce que estas, son sobre todo cardiovasculares (16). Los accidentes se producen con mayor frecuencia en pacientes con antecedentes de IAM o arritmias severas (4). Los casos de muerte súbita fueron 5 en 100000 tests revisados (16). A continuación se enumeran las complicaciones más importantes del TTE:

### VIII.1 Cardíacas

- Bradiarritmias
  - Sinusal
  - Auriculoventricular
  - Ventricular
  - Asistolia
- Muerte súbita
  - Taquicardia ventricular
  - Fibrilación ventricular
- IAM
- Falla cardíaca
- Hipotensión y shock

### VIII.2 No cardíacas

- Traumatismo músculo esquelético

## IX. MEDIDAS DE SEGURIDAD

Para mayor seguridad de la prueba los aspectos relacionados con la conducción del test fueron estandarizados por la AHA (1). La medida más importante fue la que estableció las contraindicaciones absolutas y relativas para la realización del TTE. Las primeras son imperiosas y en las segundas, la decisión depende de la información que pueda aportar, frente a los riesgos de su realización.

### IX.1 Contraindicaciones Absolutas

- IAM (Dentro de los 3 a 5 días)
- Angor inestable
- Arritmias incontrolables
- IC incontrolable
- Endocarditis aguda

- Miocarditis o pericarditis en actividad
- Hipertensión arterial descontrolada (PAS>250, PAD>120 mmHg)
- Asma intratable
- Enfermedades metabólicas no controladas (Diabetes - Tirotoxicosis)
- Saturación arterial <85%
- Incapacidad síquica que no permite realizar un test seguro y adecuado

### IX.2 Contraindicaciones Relativas

- Estenosis de la coronaria izquierda dominante o su equivalente
- Estenosis aórtica moderada
- Hipertensión arterial pulmonar significativa
- Miocardiopatía hipertrófica
- Taqui o bradiarritmias
- Taquicardia en reposo >120 lat/min
- Anormalidades electrolíticas
- Bloqueo Auriculoventricular de alto grado
- Insuficiencia mental que impide la colaboración necesaria.

También es fundamental para la seguridad del test establecer condiciones específicas para la terminación del mismo (5,16,17). La decisión está basada en la experiencia del médico y en el diagnóstico de la situación clínica del paciente. Se debe tener presente que el sujeto puede detener la prueba cuando lo solicite.

Durante el ejercicio los encargados de implementar el test - médicos y técnicos neumocardiologistas - deben estar alertas a la eventualidad de que aparezcan efectos adversos. A su vez deben estar preparados para manejar cualquier emergencia y disponer del equipo necesario.

El paciente debe ser cuidadosamente observado e interrogado sobre los síntomas que experimenta durante la prueba. Según la AHA (16) las indicaciones para terminar el ejercicio son:

### IX.3 Indicaciones Absolutas

- Caída de la presión arterial sistólica (PAS) por debajo de la basal
- Dolor anginoso creciente
- Desaturación (SpO<sub>2</sub><85%)
- Síntomas del SNC (ataxia, vértigo, vahído)
- Signos de pobre perfusión (cianosis o palidez)

- Arritmias severas (extrasístoles ventriculares en pares o series de 3)
- Bloqueos de segundo o tercer grado
- Dificultades técnicas para monitorizar el ECG o la PAS
- Pedido del sujeto para detener la prueba

### IX.4 Indicaciones Relativas

- Cambios isquémicos del ECG, depresión de ST, inversión de T o aparición de una onda Q
- Fatiga, disnea, sibilancias, calambres y/o claudicación de los miembros inferiores
- Piel fría y sudorosa, mareos o vértigos que indican un GC inadecuado
- Arritmias de menor severidad que incluyen taquicardia supraventricular
- Aparición de un bloqueo de rama que no permite distinguir una taquicardia ventricular.

## X. ENCARRE FISIOPATOLOGICO DEL TTE

La intolerancia al ejercicio ocurre cuando un sujeto es incapaz de sostener el trabajo necesario para cumplir determinada tarea. La capacidad del organismo para aumentar la tasa metabólica que exige el ejercicio depende de una serie de mecanismos fisiológicos interrelacionados entre sí, que suministran O<sub>2</sub>, consumen sustrato y eliminan CO<sub>2</sub>. Se produce una interacción entre los sistemas respiratorios, circulatorio y neuromuscular, que mantiene la energía química que provoca la contracción dinámica, y asegura la homeostasis (8).

Es claro que la ventilación y la circulación deben aumentar durante el ejercicio y que su capacidad de respuesta es un factor limitante del mismo. Sin embargo el sistema sensorial tiene también un importante papel en la reducción de la capacidad para mantener el ejercicio (22,23).

En general la actividad física debe suspenderse por la aparición de síntomas inhibitorios que producen una disconformidad inaceptable que obliga a detener el ejercicio antes que el sistema de transporte de O<sub>2</sub> alcance su capacidad (4). Aunque se desconoce la explicación de por qué los límites fisiológicos son generalmente aproximados y no superados, se puede interpretar que los síntomas representan un mecanismo de seguridad que protege al organismo contra la fatiga muscular y la ruptura de la homeostasis (8,23).

Debido a esta respuesta integrada de varios mecanismos fisiológicos para adaptar el organismo a la sobrecarga del ejercicio, es muchas veces difícil definir la causa de la intolerancia en cada caso particular. El test de ejercicio

debe dirigirse a medir los componentes individuales de la respuesta de acuerdo al diagrama de la Fig. 3 (22). Se considera que el ejercicio es el estímulo que provoca una respuesta bivalente: sensorial y fisiológica, ambas interrelacionadas entre sí.

El encare racional en la interpretación del TTE es individualizar y categorizar los síntomas que limitan el ejercicio y luego analizarlos en relación a los factores fisiológicos que fueron determinados en forma simultánea.

En general las sensaciones subjetivas y las medidas objetivas son confirmatorias de determinados factores limitantes del ejercicio. Se estima que en un 10% de los pacientes esto no ocurre y la interpretación causal puede ser compleja. En estos casos el TTE debe ampliarse y realizar otras determinaciones más laboriosas y técnicas invasivas reservadas a centros médicos de investigación (4).

### X.1 Mecanismo Sensorial

Es un hecho reconocido que los pacientes respiratorios cuando ejercitan tienen más disnea que las personas normales, para cumplir un nivel de trabajo similar (24). Sin embargo, si bien en estos pacientes la disnea frecuentemente limita el ejercicio, el hecho no es universal. También se encontró que las molestias o la fatiga a nivel de los músculos de los miembros inferiores es un síntoma limitante muy frecuente en estos enfermos (8, 24,25). Otros síntomas tienen importancia cuando se asocian diferentes afecciones clínicas, como el dolor anginoso en la cardiopatía isquémica o la claudicación en la arteriopatía periférica (4).

Es posible analizar y cuantificar los síntomas aplicando los principios psicofísicos de la fisiología. Se analiza la relación estímulo-respuesta entre la potencia progresiva del ejercicio y la intensidad de los síntomas. Estos se hacen más objetivos empleando instrumentos adecuados de medida como la escala de Borg (EB) (Fig.3) (24,26).

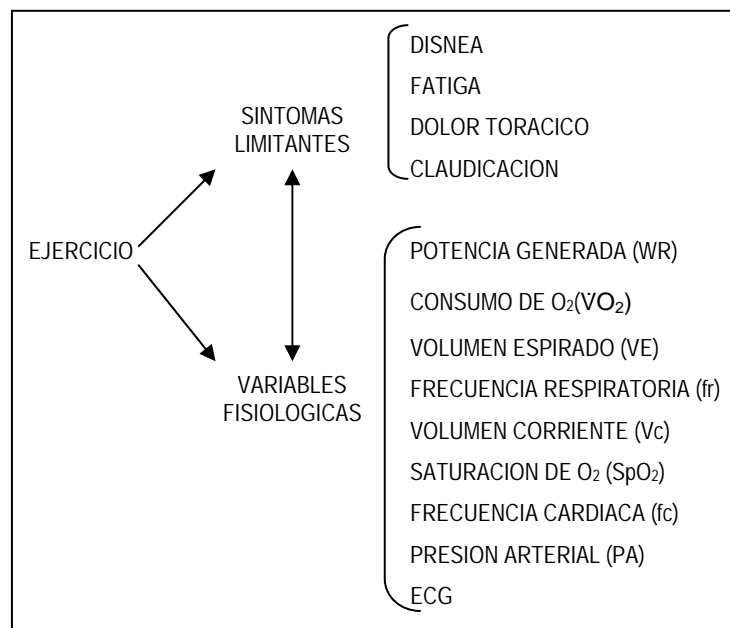


FIGURA 3  
Diagrama conceptual que muestra la respuesta bivalente al ejercicio (sensorial y fisiológica) y la interrelación entre ambas (inspirada en Mahler) (22).

La denominada escala de grado de esfuerzo percibido de Borg, mide la intensidad del síntoma desde 0 (no percepción alguna) a 10 (casi máximo), tiene agregado al número una expresión escrita, que ayuda a categorizar la sensación, al sujeto sometido a la prueba (Fig.4). El intervalo entre los espacios aumenta progresivamente. Esto refleja el hecho de que la habilidad para discriminar el estímulo disminuye para las mayores intensidades del mismo. El grado 10 es la mayor disnea o disconformidad de los miembros, que nunca experimentó el sujeto. El punto máximo señala que la severidad aumentó más aún de 10. Estas consideraciones se recogen durante y al terminar la prueba. La EB es fácil de usar si se instruye bien al sujeto y se utiliza cada vez con mayor frecuencia (22-24).

Los sujetos sanos y los pacientes tienen generalmente una intensidad de los síntomas (disnea y fatiga de los músculos) entre 4 a 7 en la EB (8). Pero a

diferencia con los normales, en los enfermos los síntomas invalidantes aparecen a un nivel menor de ejercicio por la disminución de la capacidad funcional (8).

Una gran sintomatología producida por una pequeña carga ergométrica indica la importancia de la repercusión subjetiva como factor limitante del ejercicio. La situación extrema de una disnea o fatiga intensa con una capacidad conservada, indica la naturaleza sicógena de la disnea.

La relación entre la intensidad del síntoma y la potencia del trabajo realizado, es muy reproducible y sirve para controlar la marcha de la enfermedad y los beneficios terapéuticos (22).

Los mismos síntomas limitan a los pacientes cardíacos o respiratorios. Por lo tanto se debe recurrir a las distintas variables fisiológicas para efectuar el diagnóstico diferencial (4,23).

<b>0</b>	<b><i>Absolutamente nada</i></b>
<b>0.5</b>	<b><i>Muy, muy leve (casi nada)</i></b>
<b>1</b>	<b><i>Muy leve</i></b>
<b>2</b>	<b><i>Leve</i></b>
<b>3</b>	<b><i>Moderada</i></b>
<b>4</b>	<b><i>Algo severa</i></b>
<b>5</b>	<b><i>Severa</i></b>
<b>6</b>	
<b>7</b>	<b><i>Muy severa</i></b>
<b>8</b>	
<b>9</b>	
<b>10</b>	<b><i>muy, muy severa (casi máxima)</i></b>
<b>●</b>	<b><i>Máxima</i></b>

FIGURA 4  
Escala de Borg

## X.2 Los Mecanismos Fisiológicos

El objetivo del test es obtener una serie de medidas fisiológicas relacionadas con la adaptación cardiovascular, respiratoria y metabólica que se desarrolla desde el comienzo, hasta el fin de un ejercicio progresivo máximo. La determinación de la potencia alcanzada en un cicloergómetro calibrado, mide la variable independiente con la cual las otras variables pueden ser comparados (4,22).

Cuando se realiza un ejercicio máximo la respuesta de los órganos de servicio (corazón y pulmones) proporcionan una información útil para distinguir la causa de la incapacidad funcional y de la intolerancia al ejercicio (28,29).

Se determinan: la magnitud de la respuesta ventilatoria (VE), la frecuencia respiratoria (fr), el volumen corriente (Vc), la saturación arterial (SpO<sub>2</sub>), la frecuencia cardíaca (fc) la presión arterial (PA) y los cambios del ECG (Fig. 3). Los datos se recogen durante cada minuto hasta el fin del ejercicio y luego de terminado el mismo.

Si el VO<sub>2</sub> no se determina directamente, la potencia máxima obtenida se convierte en VO<sub>2MAX</sub> (4). Este refleja el incremento metabólico del ejercicio y se relaciona con el aumento de la ventilación y de la frecuencia cardíaca (equivalente ventilatorio y pulso/O<sub>2</sub>), para evaluar la eficiencia de ambas respuestas.



### XI.1b. El Asma Inducido por el Ejercicio

Otro tipo de limitación ventilatoria particular al esfuerzo, puede producirse en algunos enfermos con hiperreactividad bronquial (4, 36). Estos pacientes con frecuencia desarrollan una crisis de broncoespasmo en el período de recuperación del TTE (Asma inducida por el ejercicio). El hecho se atribuye al enfriamiento de la mucosa bronquial por la hiperventilación (4).

### XI.2 El intercambio Gaseoso

Durante el ejercicio los pacientes con EPOC cambian la oxigenación de la sangre arterial de modo variable e imprevisible (37). La saturación puede disminuir, aumentar o permanecer igual. En general los pacientes con enfermedad severa desaturan, en contraste con las formas benignas que mantienen la saturación basal o incluso la mejoran (37). Para otros, los pacientes de tipo enfisematoso tienen un disturbio fijo del intercambio gaseoso, mientras en las formas bronquiales el intercambio es dominado por las variaciones regionales de la ventilación alveolar, que puede mejorar con el ejercicio por el incremento del  $V_c$  (38). Por lo tanto la oxigenación arterial tendería a mejorar con el ejercicio en los bronquíticos y empeorar en los enfisematosos (38,39). Como estos últimos constituyen la forma más grave de la enfermedad, ambas observaciones son válidas.

En los pacientes enfisematosos con gasto cardíaco (GC) bajo, cuando el consumo periférico supera el aporte de  $O_2$ , la saturación de la sangre venosa de retorno cae. En esta situación la hipoxemia se agrava por el efecto desfavorable de la mayor insaturación de la sangre venosa mixta, que comporta una carga funcional pulmonar extra para oxigenar una sangre que contiene una menor cantidad de  $O_2$  (39,40).

Una caída de la saturación del  $O_2$  arterial ocurre durante el ejercicio en la mayoría de los pacientes con una enfermedad pulmonar intersticial evolutiva (31,39,41). Los mecanismos principales de la hipoxemia en estos enfermos son: la disminución de la capacidad de difusión, un trastorno de la relación ventilación-perfusión, el shunt venoarterial y el aumento de la desaturación de la sangre venosa mixta (42). Todos ellos agravan la hipoxemia o determinan su aparición durante el ejercicio. Una menor capacidad de difusión empeora durante el esfuerzo por la disminución del tiempo de tránsito sanguíneo en el capilar pulmonar. Esto se debe a la perfusión del GC aumentado por el ejercicio, en un lecho vascular reducido por la destrucción alveolar. De este modo se acorta el tiempo de equilibración del  $O_2$  a través de la membrana alveolocapilar y la difusión gaseosa cae. Cuando existe hipertensión pulmonar, su incremento durante el ejercicio, favorece la formación de edema pericapilar, la membrana aumenta de espesor y transferencia gaseosa para el  $O_2$  es menor. Si el volumen sistólico disminuye por la sobrecarga del VD, el GC es menor, aumenta la desaturación de la sangre venosa y el intercambio gaseoso alveolocapilar empeora aún más (39).

Las personas sanas y los pacientes con IC crónica no desaturan durante el ejercicio y mantienen el intercambio gaseoso normal. Sin embargo, las cardiopatías congénitas con shunt de derecha a izquierda o los casos con hipertensión pulmonar y foramen oval permeable, pueden aumentar la desaturación como consecuencia del aumento de la presión en las cavidades derechas, que crea el mayor retorno venoso.

La hipoxemia puede limitar el ejercicio en forma directa al disminuir el aporte de  $O_2$  a los músculos en actividad incluidos el miocardio y los músculos respiratorios o indirectamente debido a que la hipoxemia es un estimulante de la ventilación y disminuye la RR.

Para una valoración precisa de la efectividad del intercambio gaseoso intrapulmonar se requieren técnicas invasivas y complejas. En el TTE propuesto sólo se monitoriza la saturación arterial, mediante un sensor transcutáneo (oxímetro de pulso).

### XI.3 La Limitación Hemodinámica

Durante el ejercicio progresivo máximo la  $fc$  aumenta en forma lineal con el  $VO_2$  (Fig.6) y se considera el principal factor del incremento del gasto cardíaco (31,43). Este es igual al producto del volumen sistólico por la  $fc$  ( $GC=Vs \times fc$ ). El GC a niveles importantes de esfuerzo se eleva casi exclusivamente por cardioaceleración ya que el  $Vs$  queda clausurado al principio del ejercicio (43). De esto se deduce que cuando se alcanza la  $fc$  máxima, se obtuvo el GC máximo y se agotó la reserva hemodinámica.

#### XI.3a La Reserva Cardíaca

Un concepto de importancia práctica en la interpretación del TTE es el de la reserva de la frecuencia cardíaca (Rfc). Esta es la diferencia entre la  $fc$  máxima para la edad y la  $fc$  máxima lograda al final del ejercicio (44) (Fig.7). En las personas normales la Rfc es pequeña de alrededor de 15 latidos por minuto.

En los enfermos con afecciones cardiovasculares y disminución del VS el GC sólo puede aumentar durante el ejercicio por el incremento de la  $fc$ . Esta se eleva rápidamente a partir de un trabajo menor y la Rfc se agota en forma prematura (31,45).

La Rfc también cae en los pacientes con enfermedad vascular pulmonar primaria o secundaria a una neumopatía que destruye el lecho capilar. En estos casos se reduce el retorno de sangre a las cavidades izquierdas, disminuye el VS del ventrículo izquierdo y el GC se mantiene por cardioaceleración (43).

Los sujetos con desacondicionamiento físico tienen un aumento de la  $fc$  y una disminución de la reserva durante el ejercicio por reducción del volumen vascular y de la resistencia periférica (16).

Por lo contrario la Rfc está conservada o aumentada en los pacientes con enfermedades pulmonares lo suficientemente severas como para limitar el ejercicio y por lo tanto la  $fc$  máxima (Fig.5). Lo mismo pasa con los pacientes que se detienen a un bajo nivel de ejercicio por

angor o claudicación de los miembros inferiores. Tampoco alcanzan la  $f_c$  máxima los enfermos con disfunción cronotrópica o los que toman beta bloqueantes.

Sin embargo existe un amplio espectro de respuesta del pulso en las enfermedades cardiorespiratorias que hacen que la  $R_{fc}$  tenga un papel limitado en la interpretación del TTE. Por lo tanto su valor debe ser

integrado con el resto de la respuesta al ejercicio, el cuadro clínico del paciente y los exámenes complementarios (45).

Desde el punto de vista práctico si la  $R_{fc}$  y la RR están conservadas al final de un ejercicio máximo se debe plantear una falta de motivación y un pobre esfuerzo desarrollado en el curso del TTE (31).

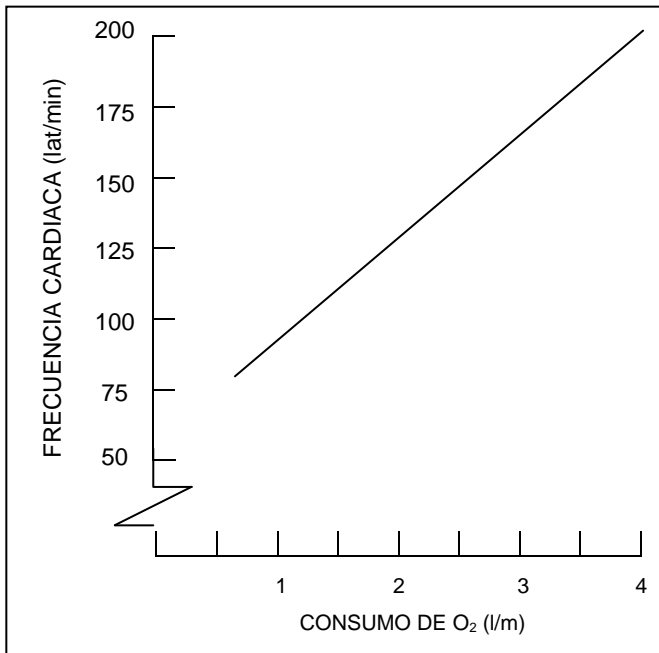


Figura 6  
 Durante un ejercicio progresivo en un ergómetro la  $f_c$  guarda una relación lineal con el  $VO_2$  y se considera el principal factor del aumento del GC (31,43).

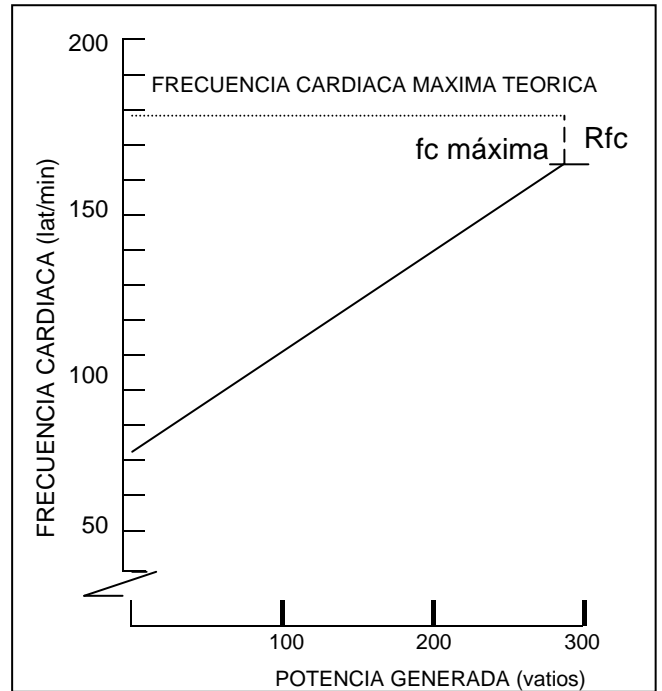


Figura 7  
 Representación idealizada de la  $R_{fc}$ . En la abscisa la potencia generada durante un ejercicio progresivo, en la ordenada la  $f_c$  (descripción en el texto).

### XI.3b El Pulso de Oxígeno

El pulso/ $O_2$  refleja la capacidad del miocardio para aportar  $O_2$  a la periferia en cada contracción cardíaca. Se obtiene del cociente  $VO_2$  sobre  $f_c$ , de donde:

$$\text{pulso}/O_2 = VO_2/f_c.$$

De acuerdo al principio de Fick:

$VO_2 = GC \times (CaO_2 - CvO_2)$  en donde  $CaO_2$  es igual al contenido arterial de  $O_2$  y  $CvO_2$  el contenido venoso.

A su vez:

$$GC = f_c \times VS, \text{ de donde: } VO_2 = f_c \times VS (CaO_2 - CvO_2)$$

o sea que:  $VO_2/f_c = VS(CaO_2 - CvO_2)$

Si al final de un ejercicio máximo, la extracción periférica de  $O_2$  es normal, el  $VO_2/f_c$  refleja el volumen sistólico. Este se encuentra reducido por debajo de 80% en los pacientes con enfermedades cardíacas o del árbol vascular pulmonar (31, 45).

Los pacientes con bajo contenido de  $O_2$  arterial, con anemia, dishemoglobinemias o con HbCO aumentada reducen la diferencia arteriovenosa de  $O_2$  y disminuyen también el pulso/ $O_2$  (45).

### XI.3c Las Variaciones de la Presión Arterial

Durante un ejercicio progresivo la PA sistémica asciende en forma moderada con la intensidad del mismo. Como el GC aumenta hasta 5 o 6 veces su valor basal, la moderación del alza tensional obedece a la caída de la resistencia vascular a nivel muscular (7,16).

La presión sistólica (PAS) se eleva en forma lineal con el esfuerzo hasta un máximo de 200-220 mmHg. El aumento de la PAS está en relación directa con la edad del sujeto. El incremento de la presión diastólica (PAD) es mínimo y puede alcanzar los 90 a 100 mm Hg (4).

Como la PAS al final del ejercicio se relaciona con el aumento del GC, es una aproximación clínica de la capacidad inotrópica del corazón. Por esta razón un incremento inadecuado de la PAS (<de 20 a 30 mmHg) se observa en los casos de isquemia miocárdica, estenosis aórtica o disfunción del VI. Una caída de la

PAS después de un ascenso normal refleja una claudicación severa del VI y obliga a detener la prueba. La interrupción brusca del ejercicio puede producir una hipotensión sistólica debido a la formación de un pooling venoso. En general la PA se normaliza antes de los 6 minutos de la terminación del ejercicio (16).

### XI.3d Los Cambios del Electrocardiograma (ECG)

El monitoreo del ECG durante el ejercicio refleja el balance entre la disponibilidad y el requerimiento de  $O_2$  por el miocardio. La penuria de  $O_2$  se traduce por alteraciones en la repolarización miocárdica (6).

En sujetos sin cardiopatía previa la aparición de arritmias supraventriculares o la aparición de extrasístoles ventriculares monomorfas aisladas en el esfuerzo o post esfuerzo no son habitualmente hallazgos significativos. Por el contrario cambios en la repolarización ventricular con depresión del segmento S-T o inversión de la onda T, indican isquemia provocada por el ejercicio. La presencia de trastornos complejos del ritmo, como episodios de taquicardia ventricular son signos indirectos de isquemia miocárdica.

## XII. INTERPRETACION Y REDACCION DEL INFORME

Una vez obtenido los datos, el médico encargado de la prueba es responsable de su interpretación y de la redacción del informe correspondiente. Para ello se recogen los resultados en un formulario adecuado que resume los hallazgos obtenidos en el TTE. Se utiliza un sistema manual simple que permite identificar fácilmente las respuestas anormales que pueden aparecer durante el ejercicio.

En los ejemplos que siguen se desarrolla un encare de varios resultados característicos en diferentes afecciones o situaciones clínicas anormales. Las interpretaciones son más detalladas y elaboradas que las requeridas en un test rutinario.

Se debe tener presente que el TTE es una prueba fisiológica y como tal mide cambios funcionales que sólo pueden ser utilizados en el contexto general del enfermo. Es por ello que antes del ejercicio deben ser revisados todos los datos clínicos y de laboratorio del sujeto y en especial TFP, ECG y RX de tórax.

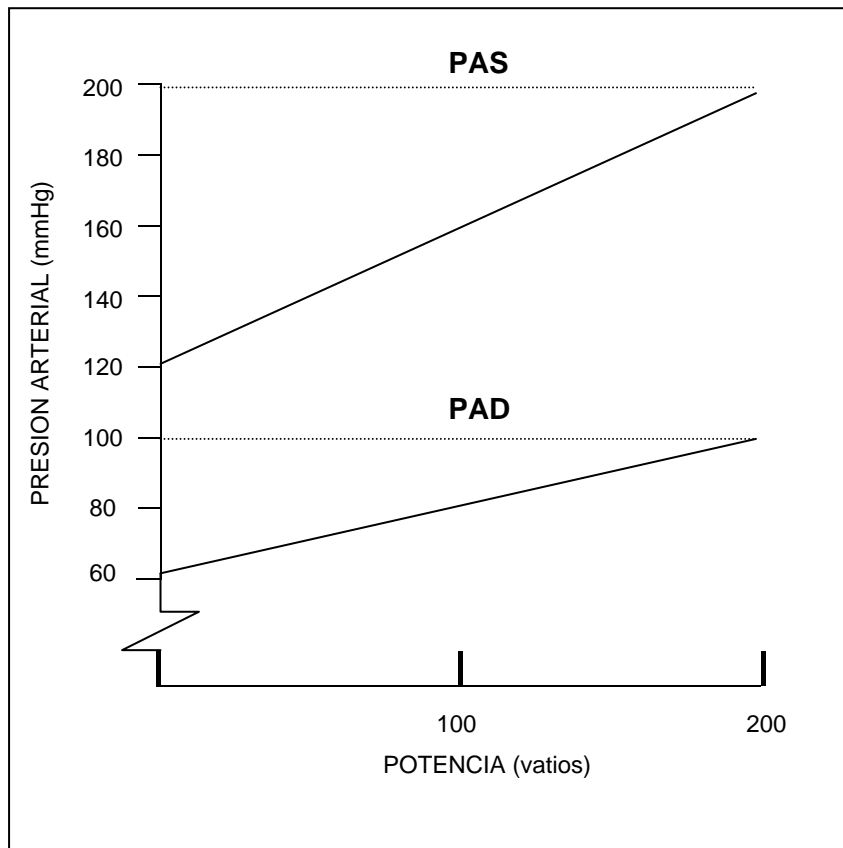


Figura 8  
Variación normal de la presión arterial sistólica y diastólica durante un ejercicio progresivo. En la abscisa la potencia generada y en la ordenada las presiones registradas.

CASO 1 : Mujer de 50 años, fumadora moderada con historia de tos y expectoración recurrente, comienza hace 6 meses con disnea de esfuerzo severa acompañada de episodios de tos. AP asma infantil. Ex.Clin. negativo. RX discreta hiperinflación pulmonar. Es enviada para estudio de su diseña. ECG normal. TFP: obstrucción bronquial permanente, de grado moderado e hiperinflación ligera.

**Datos Generales, Tests Función Pulmonar, Resultados del Ejercicio**

EDAD: 50 años	VR/CPT: 45%	MVV : 52 L/m (60%)			
GÉNERO: femenino	CVF: 2.23 (77%)	DLco: 88%			
ALTURA: 1.60 m	VEF <sub>1</sub> : 1L47(60%)	P <sub>IMAX</sub> : 82%			
PESO: 66 Kg.	VEF <sub>1</sub> /CVF: 65%	P <sub>EMAX</sub> : 90%			
PROTOCOLO: Ejercicio máximo por incrementos, (15V/m)					
RESULTADOS	EJERCICIO MAXIMO	VALORES PREDICHOS	DETERMINACIONES	BASAL	EJERCICIO MAXIMO
Potencia, V	90 (75%)	120	SpO <sub>2</sub> %	90	96
VO <sub>2</sub> , L/min	0.94 (74%)	1.26	PASmmHg	140	200
VO <sub>2</sub> /ml/Kg/min	14.3 (73%)	19.3	PADmmHg	60	90
VO <sub>2</sub> ,METs	4.1(75%)	5.4	Disnea	si	9 (EB)
VE,L/min	51	52(MVV)	Fatiga	no	4 (EB)
fr,rpm	34	<50	Dolor	no	no
Vc/CV	59	<55	Claudicación	no	no
V <sub>E</sub> /VO <sub>2</sub>	54	<41	ECG	s/p	s/p
RR%	98%	<70%			
fc,lpm	141	170			
Rfc	29	15			
VO <sub>2</sub> /fc,ml/lat	8.6	7.4			

**Interpretación:**

El TTE revela una incapacidad funcional ligera para el esfuerzo. El ejercicio está limitado por una disnea muy severa. Esta se relaciona con el grado de obstrucción de la vía aérea (VEF<sub>1</sub>=55%), y a los trastornos de la mecánica respiratoria que producen un aumento relativo de la relación (Vc/CVF=59%). Estas alteraciones incrementan el trabajo respiratorio y producen una sensación de esfuerzo ventilatorio aumentado. Existe una insaturación arterial basal de O<sub>2</sub> que se corrige por el aumento del volumen corriente en las zonas hipoventiladas. La hiperventilación compensatoria se manifiesta por el aumento del equivalente ventilatorio de O<sub>2</sub> (VE/VO<sub>2</sub>MAX=54). La disminución de la MVV y el aumento del V<sub>MAX</sub> reducen la RR.

El esfuerzo máximo es alcanzado mientras la reserva cardíaca y el pulso/O<sub>2</sub> están conservados.

**Comentario:**

Se determinó una incapacidad funcional ligera para el esfuerzo. La limitación del ejercicio es de causa ventilatoria atribuible a una bronquitis obstructiva crónica. La importancia de la repercusión subjetiva refleja una personalidad particular y la poca motivación de la enferma frente a la sobrecarga del ejercicio. Este aspecto de la morbilidad debe ser considerado en el tratamiento y puede ser encarado dentro de un programa de rehabilitación respiratoria.

CASO 2 : Mujer de 45 años, no fumadora, sin antecedentes. Desde hace un año después de un cuadro gripal intenso, comienza con disnea de esfuerzo acompañada a veces de mareos y palpitaciones. Consultó médico que planteó un prolapso mitral, que fue descartado por el cardiólogo. RX de tórax normal. TFP normal. Fue enviada para estudio de su disnea.

**Datos Generales, Tests Función Pulmonar, Resultados del Ejercicio**

EDAD: 45 años	VR/CPT: 40%	MVV: 73 L/m
GENERO: femenino	CVF: 2L61 (83%)	DLco: 88%
ALTURA: 1.61 m	VEF <sub>1</sub> : 2L11 (80%)	P <sub>IMAX</sub> : 83%
PESO: 59 Kg.	VEF <sub>1</sub> /CVF: 80%	P <sub>EMAX</sub> : 112%

PROTOCOLO: Ejercicio máximo por incrementos, (25 V/m)

RESULTADOS	EJERCICIO MAXIMO	VALORES PREDICHOS	DETERMINACIONES	BASAL	EJERCICIO MAXIMO
Potencia, V	100 (86%)	117	SpO <sub>2</sub>	96	98
VO <sub>2</sub> , L/min	1.5 (111%)	1.34	PASmmHg	130	190
VO <sub>2</sub> /ml/Kg/min	24.6 (112%)	21.9	PADmmHg	60	90
VO <sub>2</sub> ,METs	7	6.2	Disnea	si	7 (EB)
VE,L/min	45	73	Fatiga	no	3 (EB)
fr,rpm	39	<50	Dolor	no	no
Vc/CV	50	<55	Claudicación	no	no
V <sub>E</sub> /VO <sub>2</sub>	33	54	ECG	s/p	s/p
RR%	61	<70			
fc,lpm	143	175			
Rfc	32	15			
VO <sub>2</sub> /fc,ml/lat	10.4	7.6			

**Interpretación:**

El TTE reveló una tolerancia normal para el esfuerzo. Se alcanzó una potencia máxima de 86% del valor calculado. El ejercicio se detuvo por una disnea muy severa G<sup>o</sup>7 EB y una fatiga moderada G<sup>o</sup>3 EB.

A los 5' de terminada la prueba, la paciente manifestó sensación de opresión torácica y sibilancias a la

auscultación. Se realizó una espirometría que reveló un descenso del VEF<sub>1</sub> superior al 20% de su valor basal.

**Comentario:**

Paciente disneica con una sintomatología poco definida en la cual el TTE reveló un asma bronquial inducido por el ejercicio.

CASO 3 : Enfermo de 45 años, fumador moderado. Comienza hace 6 meses con episodios de tos seca y disnea de esfuerzo progresiva. La disnea comienza al apurar la marcha. Fue visto por cardiólogo que descartó una cardiopatía. Una Rx actual revela un proceso pulmonar intersticial difuso de aspecto micronodular. Previo a la biopsia pulmonar es enviado para un TTE. El TFP reveló un patrón funcional restrictivo de intensidad moderada y una disminución de la capacidad de difusión (DLco) moderadamente severa.

**Datos Generales, Tests Función Pulmonar, Resultados del Ejercicio**

EDAD: 45 años	VR/CPT: 34%	MVV : 68 L/m (58%)
GENERO: masculino	CVF: 3L11 (65%)	DLco: 55%
ALTURA: 1.74 m	VEF <sub>1</sub> : 2L8(78%)	P <sub>IMAX</sub> : 92%
PESO: 85 Kg.	VEF <sub>1</sub> /CVF: 90%	P <sub>EMAX</sub> : 95%

**PROTOCOLO:** Ejercicio máximo por incrementos, (25V/m)

RESULTADOS	EJERCICIO MAXIMO	VALORES PREDICHOS	DETERMINACIONES	BASAL	EJERCICIO MAXIMO
Potencia, V	125 (65%)	190	SpO <sub>2</sub> %	95	88
VO <sub>2</sub> , L/min	1.62 (72%)	2.25	PASmmHg	140	190
VO <sub>2</sub> /ml/Kg/min	19 (56%)	32.2	PADmmHg	80	90
VO <sub>2</sub> ,METs	5.45 (59%)	9.2	Disnea	Si	10(EB)
VE,L/min	66	68	Fatiga	no	5 (EB)
fr,rpm	62	<50	Dolor	no	no
Vc/CV	39	<50	Claudicación	no	no
V <sub>E</sub> /VO <sub>2</sub>	41	31	ECG	s/p	s/p
RR%	97%	<70%			
fc,lpm	163	175			
Rfc	12	15			
VO <sub>2</sub> /fc,ml/lat	9.9 (78%)	12.8			

**Interpretación:**

La capacidad ergométrica y aeróbica se encuentran moderadamente descendidas.

Durante la prueba se encontró una respuesta anormal de las variables cardiorrespiratorias. La RR está agotada por una exagerada respuesta ventilatoria que se expresa por un aumento de la relación VE/VO<sub>2</sub>. Esta se vincula al trastorno de la mecánica que se traduce por un tipo respiratorio anormal de Vc pequeño y fr aumentada. La disminución del VO<sub>2</sub> y de la DLCO producen una desaturación arterial severa que disminuye el aporte periférico de O<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub>/fc =78%). Esto último se debería a una probable vasoconstricción del lecho vascular pulmonar y a una caída del GC durante la prueba.

A todos estos factores disneizantes, es probable que se sume una estimulación de los mecanoreceptores pulmonares, para explicar la disnea extrema alcanzada al final del ejercicio.

**Comentario:**

El ejercicio está limitado por una disnea muy severa que se acompaña de una respuesta anormal de las variables cardiorrespiratorias. Los resultados son compatibles con el diagnóstico de una afección pulmonar intersticial que reduce la capacidad aeróbica del sujeto.

CASO 4 : Enfermo de 54 años, fumador intenso, trabaja en la actualidad en la construcción. Durante 10 años exposición laboral a asbesto. Desde hace 3 meses durante el esfuerzo: disnea y fatigabilidad de los miembros inferiores. Los síntomas tienen carácter progresivo y disminuyen su capacidad para el trabajo. Ex. Clin. Normal. La Rx de tórax muestra un corazón en el límite superior de lo normal y aumento de la trama broncovascular bibasal. TFP y ECG normales.

**Datos Generales, Tests Función Pulmonar, Resultados del Ejercicio**

EDAD: 54 años	VR/CPT: 39%	MVV: 78 L/m (70%)
GENERO: masculino	CVF: 3.56 (82%)	DLco: 85%
ALTURA: 1.69 m	VEF <sub>1</sub> : 2.56 (80%)	P <sub>IMAX</sub> : 88%
PESO: 72 Kg.	VEF <sub>1</sub> /CVF: 79%	P <sub>EMAX</sub> : 125%

PROTOCOLO: Ejercicio máximo por incrementos (15 V/m)

RESULTADOS	EJERCICIO MAXIMO	VALORES PREDICHOS	DETERMINACIONES	BASAL	EJERCICIO MAXIMO
Potencia, V	90 (54%)	165	SpO <sub>2</sub>	96	97
VO <sub>2</sub> , L/min	1.24 (63%)	1.95	PASmmHg	160	200
VO <sub>2</sub> /ml/Kg/min	17.2 (63%)	27.1	PADmmHg	80	90
VO <sub>2</sub> ,METs	4.9 (63%)	7.7	Disnea	si	7(EB)
VE,L/min	40	78(MVV)	Fatiga	no	7(EB)
fr,rpm	35	<50	Dolor	no	no
Vc/CV	39	<55	Claudicación	no	no
V <sub>E</sub> /VO <sub>2</sub>	32	31	ECG	s/p	salvas de extrasístoles ventriculares multifocales
RR%	51	<70			
fc,lpm	163	166			
Rfc	2	15			
VO <sub>2</sub> /fc,ml/lat	7.5	11.7			

**Interpretación:**

El TTE revela una incapacidad de moderada a severa para el ejercicio. Se alcanzó sólo el 54% de la potencia máxima predicha. La prueba se detuvo por disnea y fatiga de los miembros inferiores muy severas. Se encontró un VO<sub>2</sub>MAX reducido (4.9 METs) acompañado de anomalías circulatorias con una caída del pulso/O<sub>2</sub> y de la Rfc. La RR está conservada y la normalidad del equivalente ventilatorio de O<sub>2</sub> y de la SaO<sub>2</sub> indican un intercambio gaseoso normal.

La respuesta cardiovascular anormal no acompañada de alteraciones respiratorias indica una limitación hemodinámica del ejercicio. El registro de extrasístoles ventriculares multifocales plantean el origen isquémico de su disfunción miocárdica.

**Comentario:**

Paciente con intolerancia importante al esfuerzo, secundaria a una probable cardiopatía isquémica que reduce su capacidad aeróbica a la clase B de Weber (46) La conducta a seguir es profundizar el estudio cardiovascular para completar el diagnóstico.

## XXI. BIBLIOGRAFIA

- (1) AMERICAN THORACIC SOCIETY. Evaluation of impairment, disability secondary to respiratory disorders. *Am Rev Respir Dis* 1986;133:1205-1223.
- (2) PINEDA H, HASS F, AXE K. et al. Accuracy of pulmonary function testing predicting exercise tolerance in chronic obstructive pulmonary disease. *Chest* 1984; 86:564-571.
- (3) SUE DY. Exercise testing in the evaluation of impairment and disability. *Clin Chest Med* 1994; 15:369-387.
- (4) JONES NL. Clinical exercise testing, ed 4. Philadelphia, WB Saunder 1997.
- (5) WASSERMAN K, WHIPP BJ. Exercise physiology in health and disease. *Am Rev Respir Dis* 1975;112:219-249.
- (6) WHIPP BJ. The bioenergetic and gas exchange basis of exercise testing. *Clin Chest Med* 1994; 15:173-192.
- (7) FARHI LE. Physiologic requirements to perform work. *Am Rev Respir Dis* 1994; 129:S4-S5.
- (8) KILLIAN KJ, LEBLANC P, MARTIN DH, et al. Exercise capacity and ventilatory, circulatory, and symptom limitation in patients with chronic airflow limitation. *Am Rev Respir Dis* 1992;146:935-940.
- (9) DEJOURS P. Physiologie de la respiration Flammarion Medecine-Sciences. Paris. 3ed. 1982.
- (10) HANSEN JE. Exercise testing for the pulmonologist. *Curr Pulmonol* 1993; 14:43-72.
- (11) ASMUSSEN. Muscular exercise. Handbook of physiology. Respiration. Section 3. Vol II. American Physiology Society, Washington DC 1965.
- (12) SNELL PG, MITCHELL JH. The role of maximal oxygen uptake in exercise performance. *Clin Chest Med* 1984; 5:51-62.
- (13) ROSTON WL, WHIPP BJ, DAVIS JA, et al. Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in man. *Am Rev Respir Dis* 1987; 135:1080.
- (14) BELMAN MJ. Exercise in chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Chest Med* 1986; 7:585-597.
- (15) ZEBALLOS RJ, WEISMANN JM. Behind the scenes of cardiopulmonary exercise testing. *Clin Chest Med* 1994; 15:193-213.
- (16) FLETCHER GF, BALADY G, FROELICHER VF, et al. Exercise standards: A statement for health care professionals from the American Heart Association. *Circulation* 1995;91:58-615.
- (17) ZABALA DC, MAZZEI JA. Manual de pruebas de ejercicio y rehabilitación cardíaca y pulmonar. Fundación Favaloro 1996 Bs. As.
- (18) WIEDEMANN HP, GEE JB, BALMES JR, et al. Exercise testing in occupational lung disease. *Clin Chest Med* 1984; 5:157-171.
- (19) MCKELVIE RS, JONES ML. Cardiopulmonary exercise testing *Clin Chest Med* 1989; 10:277-291.
- (20) RIES AL. The importance of exercise in pulmonary rehabilitation. *Clin Chest Med* 1994; 15:327-337.
- (21) RIES AL. Pulmonary rehabilitation. *Curr Pulmonol* 1994; 15:441-467.
- (22) MAHLER DA. The measurement of dysnea during exercise in patients with lung disease. *Chest* 1992; 101/5:S242-S247.
- (23) KILLIAN KJ, JONES NL. Mechanisms of exertional dysnea. *Clin Chest Med* 1994; 15:247-257.
- (24) MAHLER DA, HOROWITZ MB. Clinical evaluation of exertional dysnea *Clin Chest Med* 1994; 15:259-269.
- (25) SERVERA E, GIMENEZ M, MOHAN KUMAR T, et al. Oxygen uptake a maximal exercises in chronic airflow obstruction. *Bull Europ Physiopathol Respir* 1983; 19:553-556.
- (26) HOLT GA, KELSEN SG. Dysnea. *Current Pulmonol* 1993; 14:293-320.
- (27) LEBLANC P, BOWIE DM, SUMMERS E, et al. Breathlessness and exercise in patients with cardiorespiratory disease. *Am Rev Respir Dis* 1986; 133:21-25.
- (28) LOKE J. Distinguishing cardiac versus pulmonary limitation in exercise performance. *Chest* 1983; 83:441-442.
- (29) NERY LE, WASSERMAN K, FRENCH W, et al. Contrasting cardiovascular and respiratory responses to exercise in mitral valve and chronic obstructive pulmonary diseases. *Chest* 1983; 83:447-453.
- (30) GALLAGHER CG. Exercise and chronic obstructive pulmonary disease. *Med Clin North Am* 1990; 74:619-641.

- (31) WEISMAN JM, ZEBALLOS RJ. An integrated approach to the interpretation of cardio pulmonary exercise testing. *Clin Chest Med* 1994; 15:421-445.
- (32) PARDY RL, HUSSAIN SBA, MAKLEM PT. The ventilatory pump in exercise. *Clin Chest Med* 1984; 5:35-49.
- (33) MARIN JM, SABAH N, HUSSAIN A, et al. Relationship of resting lung mechanics and exercise pattern of breathing in patients with chronic obstructive lung disease. *Chest* 1993; 104:705-711.
- (34) HANSEN JE, SUE DY, WASSERMAN K. Predicted values for clinical exercise testing. *Am Rev Respir Dis* 1984; 129:S49-S55.
- (35) SUE DY, HANSEN JE. Normal values in adults during exercise testing. *Clin Chest* 1984; 5:89-98.
- (36) ANDERTON RC, CUFF MT, FRITH PA, et al. Bronchial responsiveness to inhaled histamine and exercise. *J Allergy Clin Immunol* 1979; 63:315-320.
- (37) GALLAGHER CG. Exercise limitation and clinical exercise testing in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Clin Chest Med* 1994; 15:305-326.
- (38) JONES NL, BERMAN LB. Gas exchange in chronic air-flow obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1984; 129:S81-S83.
- (39) WAGNER PD. Ventilation-perfusion matching during exercise. *Chest* 1992; 101:1935-1985.
- (40) DANTZKER DR, D'ALONZO GE. The effect of exercise on pulmonary gas exchange in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1986; 134:1135-1139.
- (41) AGUSTI AGN, ROCA J, GEA J, et al. Mechanisms of gas exchange impairment in idiopathic pulmonary fibrosis. *Am Rev Respir Dis*. 1991; 143:219-225.
- (42) MARCINIUK DD, GALLAGHER CG. Clinical exercise testing in interstitial lung disease. *Clin Chest Med* 1994; 15:287-303.
- (43) LOWEL STONE H, LIANG IYS. Cardiovascular response and control during exercise. *Am Rev Respir Dis* 1984; 129:S13-S16.
- (44) WASSERMAN K. New concepts in assesing cardiovascular function. *Circulation* 1988; 78:1060-1071.
- (45) TJAHJA IE, REDY HK, JANCKI JS, et al. Evolving role of cardiopulmonary exercise testing in cardiovascular disease. *Clin Chest Med* 1994;15:271-285.
- (46) WEBER KT, JANICKI JS, LIKOFF MJ. Exercise testing in the evaluation of cardiopulmonary disease. *Clin Chest Med* 1984;5:173-180.

