

PRUEBA DE ESFUERZO.

M. D. Sebastián Gil.

Servicio de Neumología Hospital Carlos Haya. Málaga.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AT: Umbral anaeróbico AV: Auriculo ventricular CO: Monóxido de carbono ECG: Electrocardiograma f: Frecuencia respiratoria FC: Frecuencia cardiaca FRC: Capacidad residual funcional IAM: Infarto agudo de miocardio P(A-a)O₂: Diferencia alveolo arteria] de oxígeno Pa(A-a)O₂: Presión arterial de oxígeno R: Cociente respiratorio rpin: Revoluciones por minuto SaO₂: Saturación de oxígeno TA: Tensión arterial TAD: Tensión arterial diastólica TAS: Tensión arterial sistólica TI,C: Capacidad pulmonar total VCO₂: Producción de carbónico VD/VT: Relación espacio muerto volumen circulante VENCO₂: Equivalente respiratorio de CO₂ VENO₂: Equivalente respiratorio de O₂ VE: Ventilación minuto VO₂: Consumo de oxígeno VO₂/FC: Pulso de oxígeno VT: Volumen corriente W: Vatios

La ergoespirometría o test de esfuerzo consiste en el estudio y evaluación de la adaptación fisiológica del organismo, (fundamentalmente de los sistemas respiratorio, cardiocirculatorio, metabólico, y hormonal) a un aumento de la carga muscular externa de manera simultánea y en condiciones máximas o submáximas. La prueba se realiza fundamentalmente para:

1- Determinar la capacidad aeróbica funcional.

2- Establecer a qué nivel de esfuerzo aparecen síntomas y signos, y cuál es el ori en: respiratorio cardiocirculatorio, metabólico, mixto.

Y como consecuencia:

1- Planificar programas individuales de entrenamiento o rehabilitación.

2- Valorar los beneficios obtenidos con un programa de ejercicio físico y/o medicación.

CRITERIOS DE VALIDEZ

Para que una prueba de esfuerzo sea válida debe reunir una serie de criterios:

El trabajo físico debe poner en juego grupos mus- 7- De forirna opcional y según las características de culares voluminosos y variados.

- Los parámetros evaluados deben ser útiles en lo que -se precisa estudiar.

- Los protocolos utilizados deben ser reproducibles y mensurables con un nivel conocido y predeterminado de carga que pueda servir de referencia.

- El desarrollo de la prueba será metódicamente controlado.

REQUERIMIENTOS PRELIMINARES

Los riesgos a los que se somete a un paciente con el test

de esfuerzo son pequeños, [mortalidad 0,005%.(1/20.000)], aunque es necesario conocer algunos datos para evitar complicaciones:

- 1- Historia clínica, diagnóstico y objetivos que se pretenden con la prueba.
- 2- Medicación habitual, especialmente hipotensores, betabloqueantes, hipoglicemiantes o antitérmicos.
- 3- Grado de disnea por escala subjetiva tipo Borg, y grado de entrenamiento.
- 4- Datos morfométricos, edad, peso, talla.
- 5- Exploración cardiopulmonar basal (determinación de TA, FC) y supervisión de toda la prueba por un médico conocedor del test.
- 6- Antes de llevarlo a cabo se debe realizar ECG de reposo con 12 derivaciones y espirometría basal que permitirá el análisis de la situación funcional en reposo.
- 7- De forma opcional según las características de la prueba se realizará estudio de volúmenes con FRC y TLC, difusión pulmonar al CO y gasometría arterial sobre todo si se sospecha hipoxemia.
- 8- Deberá ser obligatorio obtener consentimiento informado del paciente.
- 9- No se fumará en las 8 horas previas al test.
- 10- Si el test se realiza para estudio de incapacidad o evaluación funcional se realizará con el régimen medicamentoso más adecuado.
- 11- El test no deberá realizarse en las situaciones expuestas en la tabla 1.

TABLA 1

CONTRAINDICACIONES PARA LA REALIZACIÓN
DE LA PRUEBA DE ESFUERZO

Absolutas:

1. IAM en fase aguda (1ª y 2ª semana en no complicados) o cambios recientes en ECG de reposo.
2. Angina inestable.
3. Arritmia cardíaca grave.
4. Estenosis aórtica severa.
5. Insuficiencia cardíaca descompensada.
6. Embolia o infarto pulmonar agudo.
7. Miocardiopatía hipertrófica obstructiva grave.
8. Discapacidades físicas importantes.
9. Miocarditis aguda.
10. Bloqueo AV de 3º grado.
11. Asma no controlado.

Relativas:

1. Estenosis aórtica moderada.
2. Hipertensión arterial o pulmonar significativa TAS >250 mmHg y/o TAD >120 mmHg.
3. Taquiarritmia o bradiarritmia.
4. Enfermedad miocárdica o valvular moderada.
5. Enfermedades intercurrentes.
6. Ansiedad manifiesta o falta de colaboración.
7. Marcapasos de frecuencia fija.

Otros:

1. Anemia severa.
2. Aneurisma disecante de aorta.
3. Tromboflebitis aguda.
4. Enfermedades crónicas debilitantes.
5. Sobredosis o intoxicación por ciertas drogas vasoactivas.
6. Alteraciones electrolíticas severas.

EQUIPAMIENTO NECESARIO. METODOLOGÍA

a) Personal:

Un médico, cuyas funciones serán:

- Valorar la petición y establecer la finalización de la prueba.
- Informar al paciente en qué consiste y los riesgos que puede presentar.
- Valorar clínicamente al paciente antes y durante la prueba
- Diagnosticar y tratar las complicaciones o urgencias que surjan.
- Emitir el informe con el resultado de la prueba.

Un ATS, técnico de laboratorio, que:

- Preparará al paciente para la prueba.
- Enseñará como debe hacerse en función del protocolo escogido.
- Controlará la TA si no tiene medición directa el aparato.
- Colaborará y participará en el manejo del paciente en caso de que se produzcan complicaciones, o que se realicen extracciones sanguíneas para estudios más complejos.

b) Material:

Debe estar ubicado en una habitación suficientemente amplia, bien ventilada y con temperatura adecuada.

Sería aconsejable disponer de un vestuario con servicios cercano.

- Ergómetros: podrá ser un cicloergómetro, pedal unido a un sistema de frenado electromagnético y controlado por la velocidad de rotación del pedal (de 40/80 cicl/min), o bien una cinta sin fin "treadmill" que es una banda que se desliza sobre una plataforma de pendiente a velocidad variable. Los detalles técnicos y calibración están bien estandarizados y escapan a los límites de este artículo, debiendo seguirse las recomendaciones del fabricante y las normativas establecidas^(1,2).
- Circuito, conductos y válvulas: las resistencias totales del circuito no deben sobrepasar 1 cm H₂O/L/seg y un espacio muerto inferior a 50 ml. La conexión del sujeto al circuito puede hacerse a través de boquilla (no aumenta el espacio muerto, pero acumula saliva que llega a hacerla muy incomoda) o mascarilla (que aumenta el espacio muerto y origina fugas a nivel de su unión en la cara).
- Neumotacógrafo: colocado en la zona espiratoria, debe ofrecer una señal eléctrica para la ventilación (VE), volumen corriente (VT) y frecuencia respiratoria así como para procesar datos para el cálculo del consumo de oxígeno VO₂ y eliminación de carbónico VCO₂.
- Analizador de oxígeno y carbónico: habitualmente un espectrómetro de masas o una célula de zirconio, que tienen un grado de precisión elevado. Se deben seguir las indicaciones de uso dadas por el fabricante, vigilar la calibración de los aparatos y confirmar dicha calibración antes y después de cada prueba, verificando de forma regular la linealidad de la respuesta por medio de gases testigos de composición garantizada.
- Sistema de registro ECG: La colocación idónea de los electrodos varía, pero se aconseja tener por lo menos un electrodo de referencia a nivel esternal sujetado con una malla. Las inestabilidades de la línea isoeletrica se evitan con una buena preparación de la piel y pasta electrolítica de alta conductibilidad.
- Osciloscopio/monitor: de visión directa que permita la valoración rápida de los cambios electrocardiográficos.
- Tensiómetro: bien calibrado, si no viene acoplado al cicloergómetro.
- Cama/camilla: para valoración previa del paciente, o por si surgen complicaciones.

- Desfibrilador: preparado y revisado para ser utilizado.
- Material médico: para intubación traqueal, venoclisis, y oxigenoterapia.
- Medicación: necesaria para iniciar el tratamiento de posibles complicaciones (atropina, lidocaína, nitroglicerina, sulfato de morfina, isoproterenol, etc.)
- Equipamiento complementario: Equipo para estudio hemodinámico, con traductores manométricos para determinación de presión arterial pulmonar y sistémica. Oxímetro de pulso para estudios de desaturación al esfuerzo. Equipo para estudio de mecánica ventilatoria y dinámica de los músculos respiratorios en el curso del esfuerzo.

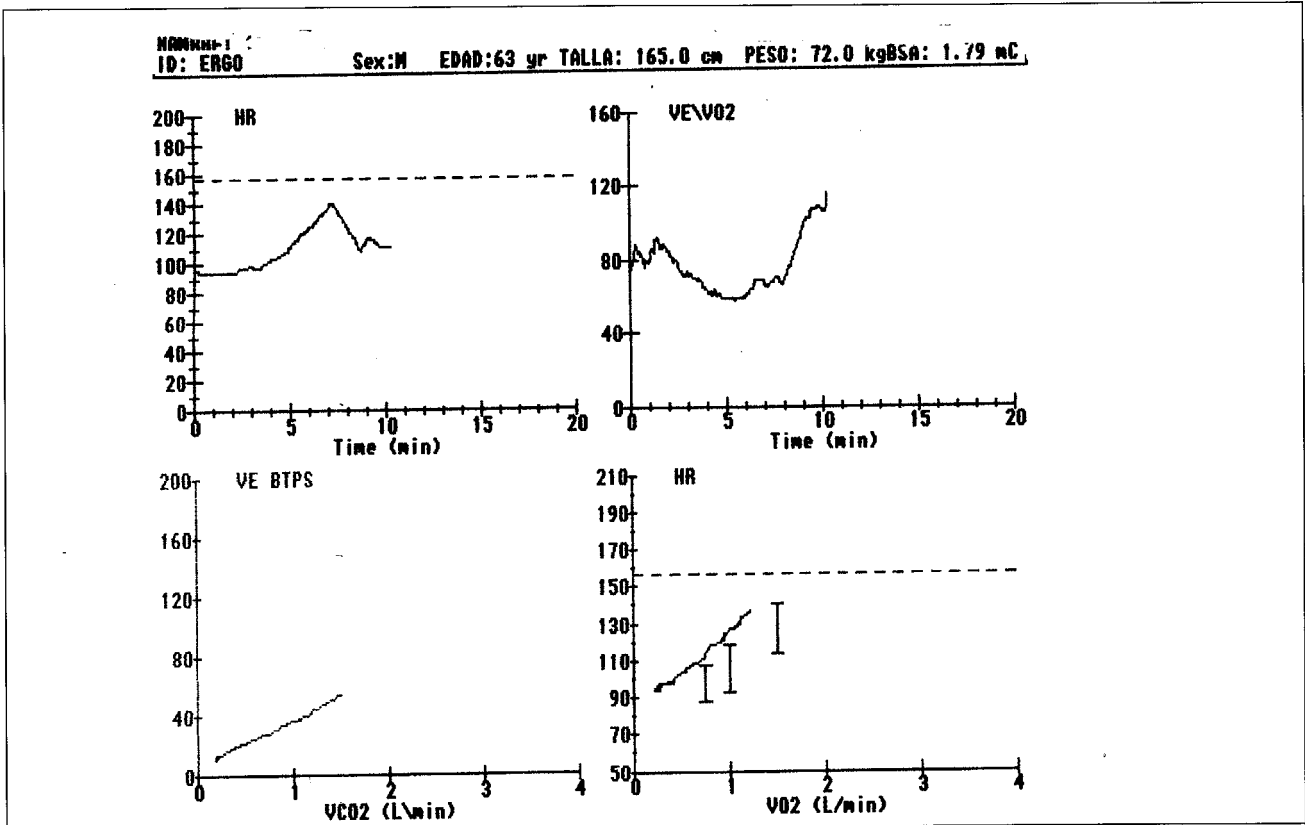
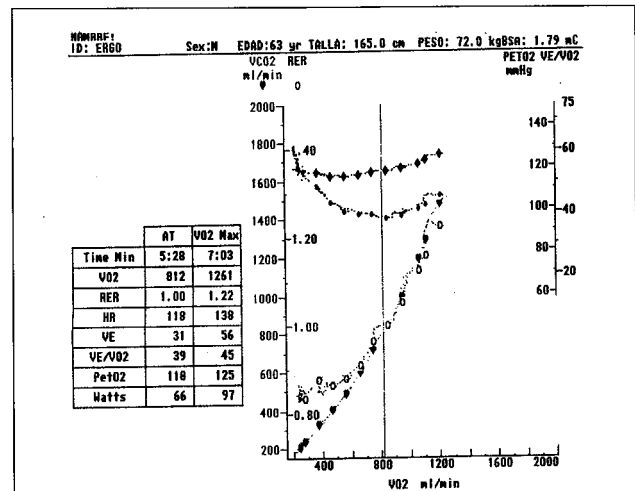
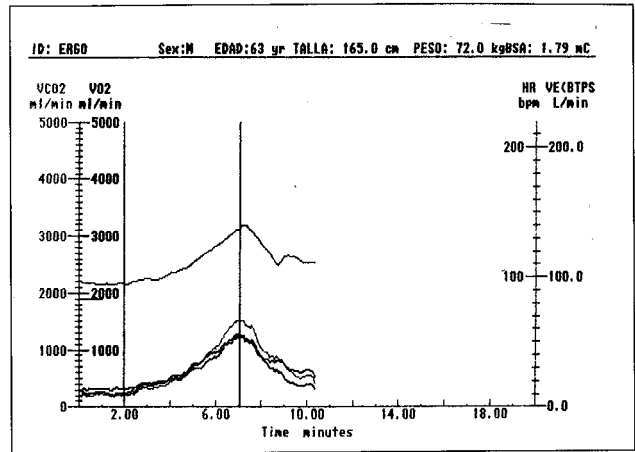
c) Registro de parámetros:

Los resultados numéricos de los parámetros expuestos en la Tabla 2 se expresan cada treinta segundos. Cada equipo permite obtener gráficas resumen y análisis individualizados de los datos como se expone en las gráficas 1,2,3,4,y 5.

TABLA 2

PARÁMETROS OBTENIDOS DURANTE LA PRUEBA DE ESFUERZO

Metabólicos: $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, AT R
 Respiratorios: VE, VT, f, VE/ $\dot{V}O_2$
 Cardiovascular: FC, T A, $\dot{V}O_2/FC$
 Intercambio gaseoso pulmonar:
 SaO_2 , PaO_2 , $P(A-a)O_2$, VD/VT, $P(a-ET)CO_2$, VE/ $\dot{V}CO_2$

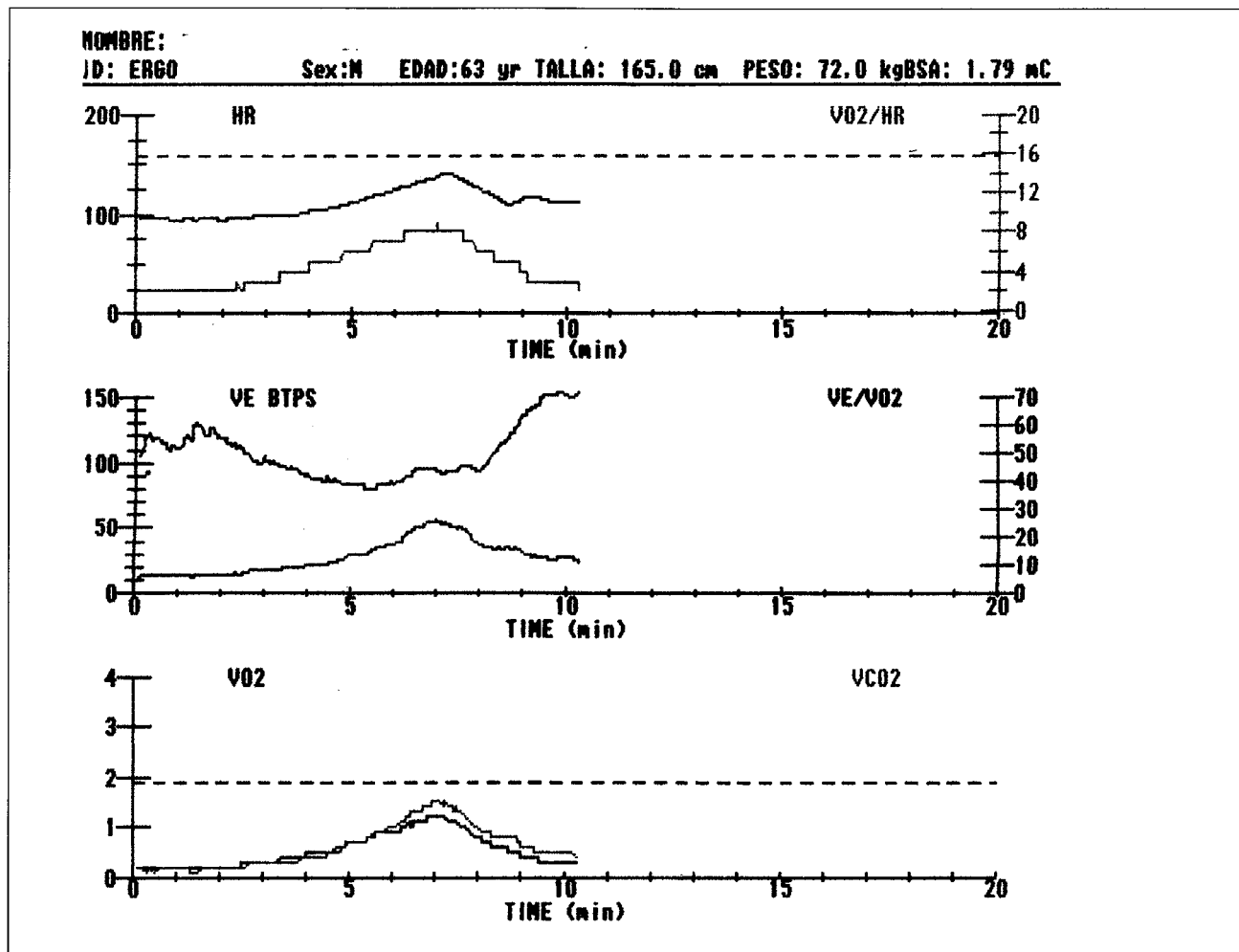


PROTOCOLOS

Hay múltiples, pero todos deben respetar las siguientes reglas generales:

1- Ser progresivos, con una fase de reposo y calentamiento adecuado y otra de recuperación.

2-Duración total de la prueba 8-12 min.



3- Es aconsejable utilizar protocolos específicos a los fines perseguidos, siempre que sean medibles y repetibles.

- Test incremental: consiste en incrementos de carga de 5 a 30 W cada minuto, hasta llegar al agotamiento o ser interrumpido por el medico. Se recomienda una velocidad de pedaleo de 60 rpm^(8,9).

- Protocolo en rampa o triangular: muy parecido al anterior. Tras un período de reposo se incrementa de forma continuada la potencia de 5 a 30 W según las características del paciente. Se precisa una bicicleta electrónica y un sistema computerizado que controle la bicicleta⁽¹⁰⁻¹²⁾

- Trabajo constante: se requiere en situaciones especiales en las que se quiera estudiar la cinética de los gases, o medidas de intercambio gaseoso pulmonar. Se utiliza el 50% de la potencia máxima alcanzada en un test incremental para estar próximos al umbral anaeróbico y al 70% de la máxima potencia⁽¹³⁾.

Se pueden encontrar en la bibliografía diferentes protocolos para realizar estos test tanto en cinta rodante 1-7, como en bicicleta^(8,9).

CONDICIONES ESTÁNDAR PARA LA REALIZACIÓN DE UNA PRUEBA DE ESFUERZO

Por parte del paciente:

- Ausencia de proceso infeccioso agudo.
- No haber ingerido alimentos 2-3 horas antes.
- No haber realizado esfuerzos importantes desde el día anterior a la prueba.
- No haber ingerido estimulantes (café, té, etc.)
- Utilización de ropa cómoda que no comprima. Por parte del personal de laboratorio:
- Ambiente tranquilo en la habitación con una temperatura de 20-22°C y humedad relativa de 40-60%:
- Explicar de forma adecuada al paciente el desarrollo de la prueba.
- Calibración y puesta a punto del aparato.

CRITERIOS DE INTERRUPCIÓN

Signos y síntomas clínicos:

- Dolor precordial agudo.
 - Disnea severa desproporcionada al esfuerzo.
 - Vértigo o desmayo.
 - Temblores y síncope.
 - Signos de mala perfusión periférica (cianosis y detención súbita de sudoración).
- Aprensión o deseo del paciente de finalizar. - Claudicación sintomática.

Signos electrocardiográficos:

- Extrasístoles ventriculares, taquicardia paroxística ventricular de onda Q.
- Bloqueo AV de 2º, 3º grado.
- Cambios isquémicos. ST, inversión T, aparición de onda Q.
- Bloqueo completo de rama.
- Dificultad técnica de registro del E.C.G.

Signos de TA:

- Hipotensión sistólica por debajo de los niveles de reposo a pesar de aumento de trabajo.
- Caída de >20 mmHg de TA sistólica al comienzo del esfuerzo
- Elevación de TA sistólica por encima de 260 mmHg o diastólica > 120 mmHg.

MEDGRAPHICS CARDIOPULMONARY EXERCISE TEST

CPX - SUMMARY REPORT

NOMBRE		Sex: M	EDAD: 63 yr	TALLA: 165.0 cm	PESO: 72.0 kg	BSA: 179 mCa	
ID: ERGO		Rest	AT	Peak VO2	PredMax	AT/Max%	%Pred
Time	(minutes)	1:57	5:28	7:03			
Work	(watts)	2	66	97	132	67.3	73.9
VO2	(ml/min)	240	812	1261	1900	64.4	66.4
VO2/kg	(ml/kg/min)	3.3	11.3	17.5		64.4	
VCO2	(ml/min)	208	814	1540		52.9	
RER		0.86	1.00	1.22		82.2	
METS		0.8	3.2	5.0		63.4	
VE BTPS	(L/min)	14	31	56	105	55.6	53.9
RR	(bpm)	21	25	36		69.6	
Vt BTPS	(ml)	654	1253	1568		79.9	
VE/VO2		58	39	45		86.3	
VE/VCO2		67	38	37		105.1	
PETO2	(mmHg)	119	118	125		94.3	
PETCO2	(mmHg)	34	39	37		105.4	
Vd/Vt-est		0.44	0.28	0.22			
SaO2(Ox)	(%)	12	86	103		83.4	
HR	(bpm)	95	118	138	157	85.5	87.9
VO2/HR		3	7	9		75.3	
Systolic BP	(mmHg)	118	146	196		74.5	
Diastolic BP	(mmHg)	73	85	102		83.3	
RatePresPr		112.2	172.3	270.5		63.7	
BorgPE							
Ph							
PaCO2	(mmHg)						
PaO2	(mmHg)						
Hgb	(gm%)						
SaO2(MEnt)	(%)						
Lactate	(mEq/L)						

Physician:
Technician:

_____ M.D.

RESUMEN

La realización de una prueba de esfuerzo debe de seguir unos pasos, bastante estandarizados, que describimos a continuación a modo de resumen:

- 1º. Encendido del aparato al menos media hora antes del test para el paso de gases.
- 2º. Calibración de neumotacógrafos y analizadores de gases.
- 3º. Apertura de la ficha del paciente y realización de espirometría basal.
- 4º Explicación completa del desarrollo de la prueba.
- 5º Colocar al sujeto en la bicicleta o cinta y comprobación del funcionamiento de todos los parámetros.
- 6º Escoger el protocolo más adecuado.
- 7º Iniciar el test con un período de reposo en el que se miden todos los parámetros al menos durante T.
- 8º. El test de esfuerzo finalizará: 1º- cuando se hayan alcanzado los objetivos máximos teóricos previstos, 2º- al producirse alguno de los hechos anteriormente expresados como criterios de interrupción o 3º- por indicación del propio enfermo.
- 9º Iniciar período de recuperación hasta alcanzar el 80% de los parámetros basales.
- 10º. Selección de datos, cálculo de umbral anaerobio e información de la prueba.

Recomendamos para el manejo de este ultimo punto así como para los valores de referencia la lectura de los siguientes artículos, 1,13-17.

BIBLIOGRAFÍA

1. American College of Sports Medicine: Resource manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescriptions. Philadelphia, Lea & Febiger 1988.
2. Hellerstein HK. Specifications for exercise testing equipment. *Circulation* 1979; 59: 849A-854A.
3. Clausen JI. Pulmonary Function Testing Guidelines and Controversies. New York, Academic Press, 1982.
4. Astrand PO, Rodahl K. Textbook of Work Physiology, ed 3. New York, McGraw-Hill, 1986.
5. Pollock ML, Bohannon RL, Cooper KH, et al. A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. *Am Heart J* 1976; 92: 39-46.
6. Bruce RA, McDonough JR. Stress testing in screening for cardiovascular disease. *Bull NY Acad Med* 1969; 45: 1288-1305.
7. Zeballos RJ, Weisman IM. *Clin Chest Medicine* 1994; Vol 16. 15⁽²⁾:193-213.
8. Jones NL. Clinical Exercise testing ed 3. Philadelphia, WB Saunders, 1988.
9. Wasserman K, Hansen JE, Sue Dy et al. Principles of Exercise Testing and Interpretation. Philadelphia, Lea & Febiger 1987.
10. Arstila M. Pulse-conducted triangular exercise ECG test. A feedback system regulating work during exercise. *Acta Med Scand* 1972; 529 (suppl): 3-109.
11. Whipp BJ, Davis JA, Torres F et al. A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J Appl Physiol* 1981; 50: 217-221.
12. Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, et al. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol* 1983; 55: 1558-1564.
13. Wipp B.J, Wasserman K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *J Appl Physiol* 1972; 33 351-356.
14. Jones NL, Makrides L, Hitchcock C, et al. Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer Test. *Am Rev Respir Dis* 1985; 131:700-8.
15. Blackie SP, Fairban MS, McElvaney NG, et al. Normal values and ranges for ventilation and breathing pattern at maximal exercise. *Chest* 1991; 100:136-142.
16. Blackie SP, Fairban MS, McElvaney NG, et al. Prediction of maximal oxygen uptake and power during cycle ergometry in subjects older than 55 years of age. *Am Rev Respir Dis* 1989; 139: 1424-29.
17. Weisman IM, Zeballos RJ. An Integrated Approach to the interpretation of cardiopulmonary exercise testing. *Clin Chest Medicine* 1994; vol 15⁽²⁾: 421-447.