

## **Estudi comparatiu dels mètodes de detecció del llindar ventilatori\***

## **Estudio comparativo de los métodos de detección del umbral ventilatorio\***

J. Ribas; M. Violan; M. Guerra; B. Roman.

Laboratori de Valoració Funcional. Escola de Medicina de l'Educació Física i l'Esport.  
Facultat de Medicina de la Universitat de Barcelona. Director Prof. D. Ruano.

### **Introducció**

Tradicionalment s'ha proposat la relació entre el lactat i els canvis en els paràmetres ventilatoris en la determinació del llindar anaeròbic (Wasserman, 1973). Per això, s'ha utilitzat un model de llindar ventilatori en el qual, increments no lineals de la ventilació i l'equivalent ventilatori d'oxigen, podrien ser utilitzats com a indicadors del llindar de lactat. Altres estudis han posat objeccions a què existeixi aquesta relació (Brooks, 1985a, Brooks, 1985b; Gaesser, Poole, 1986; Hugues, Turner, Brooks, 1982; Poole, Gaesser, 1985).

Nombrosos laboratoris de valoració funcional utilitzen mètodes ventilatoris per detectar el llindar anaeròbic, però varia el sistema usat per determinar-lo.

El llindar anaeròbic ventilatori ha estat definit com:

1. Increment no lineal en la ventilació (VE) (Davis, Vodak, Whilmore, Vodak, Kurtz, 1976; Ivy, Whithers, Van, Handel, Elger, Costill, 1980; Wasserman, 1964; Wasserman, Whipp, 1975).

### **Introducción**

Tradicionalmente se ha propuesto la relación entre el lactato y cambios en los parámetros ventilatorios en la determinación del Umbral anaeróbico (Wasserman, 1973). Para ello, se ha utilizado un modelo de umbral ventilatorio en el cual, incrementos no lineales en la ventilación y el equivalente ventilatorio de oxígeno, podrían ser utilizados como indicadores del umbral de lactato. Otros estudios han objetado que exista dicha relación (Brooks, 1985 a Brooks, 1985 b; Gaesse; Poole, 1986; Hugues; Turner; Brooks, 1982; Poole; Gaesser, 1985).

Numerosos laboratorios de valoración funcional utilizan métodos ventilatorios para la detección del umbral anaeróbico, variando el sistema usado para dicha determinación.

El umbral anaeróbico ventilatorio se ha definido como:

1. Incremento no lineal en la ventilación (VE) (Davis, Vodak, Whilmore, Vodak, Kurtz, 1976; Ivy, Whithers, Van, Handel, Elger, Costill, 1980; Wasserman, 1964; Wasserman, Whipp, 1975).

\* Estudi realitzat gràcies a un ajut de la Direcció General de l'Esport.

\* Estudio realizado gracias a una ayuda de la Dirección General de l'Esport.

2. Increment no lineal en la producció de  $\text{CO}_2$  ( $\text{VCO}_2$ ) (Davis et al, 1976; Wasserman, 1973; Wasserman et al, 1975).
3. Increment del cocient respiratori (RER) (Naimark, 1964; Wasserman, 1973; Wasserman, 1964; Wasserman et al, 1975).
4. Increment sistemàtic de l'equivalent ventilatori de l' $\text{O}_2$  ( $\text{VE}/\text{VO}_2$ ) sense increment concomitant de l'equivalent ventilatori del  $\text{CO}_2$  ( $\text{VE}/\text{VCO}_2$ ) (Davis et al, 1976; Reinhard, 1979; Whipp, Davis, Torres Wasserman, 1981).

Tal com s'ha mostrat en diversos treballs (Gladden, Yates, Stremel, Stamford, 1985; Yeh, Gardner, Adams Yanowitz, 1983), la important variabilitat existent en la determinació del llindar anaeròbic pels mètodes abans esmentats quan és realitzada per diferents observadors ha portat al desenvolupament d'un mètode de detecció del llindar anaeròbic no dependent de valoracions subjectives per part dels observadors (Beaver, Wasserman, Whipp, 1986). Aquest mètode, conegut com la V-slope, es basa en la utilització d'una anàlisi de regressió computeritzada dels pendents de  $\text{VCO}_2$  versus  $\text{VO}_2$ . Així es detecta el començament de l'excès de la producció de  $\text{CO}_2$  generat pel tamponament d'hidrogenions.

Els objectius d'aquest estudi són:

1. Observar la correlació existent entre els diferents mètodes visuals de determinació del llindar anaeròbic ventilatori entre sí i amb el mètode de la V-slope.
2. Observar la concordància entre observadors en la determinació del llindar segons els mètodes esmentats.

## Material i mètodes

Es disposa d'un total de 14 proves d'esforç realitzades en una població de 12 individus, 6 homes i 6 dones. La mitjana (+/-DE) d'edat i característiques antropomètriques es detallen a la Taula 1.

Vuit de les proves es realitzaren sobre cinta i les sis restants sobre cicloergòmetre. El protocol a la cinta (Powerjog) va consistir en un escalfament a 4 Km/h, les dones, i a 6 Km/h els homes, durant 2 minuts. A continuació es realitzaren increments de 2 Km/h cada 2 minuts fins a l'esgotament. El pendent fou constant des de l'escalfament fins al final de la prova. Aquest pendent era d'un 5%. La resta de proves es realitzà sobre cicloergòmetre de fre mecànic Monark 818. El protocol va consistir en 3 minuts de recollida de dades en repòs, després dels quals s'inicià el pedaleig a 50 revolucions per minut, començant per 50 watts les dones i 75 els homes. Els arguments de càrrega foren de 25 watts cada minut fins a l'esgotament.

Durant l'exercici d'increment les respostes ventilatòries i l'intercanvi de gasos foren mesurades res-

2. Incremento no lineal en la producción de  $\text{CO}_2$  ( $\text{VCO}_2$ ) (Davis et al, 1976; Wasserman, 1973; Wasserman et al, 1975).
3. Incremento del cociente respiratorio (RER) (Naimark, 1964; Wasserman, 1973; Wasserman, 1964; Wasserman et al, 1975).
4. Incremento sistemático del equivalente ventilatorio del  $\text{O}_2$  ( $\text{VE}/\text{VO}_2$ ) sin incremento concomitante del equivalente ventilatorio del  $\text{CO}_2$  ( $\text{VE}/\text{VCO}_2$ ) (Davis et al, 1976; Reinhard, 1979; Whipp, Davis, Torres Wasserman, 1981).

Tal como se ha mostrado en diversos trabajos (Gladden, Yates, Stremel, Stamford, 1985; Yeh, Gardner, Adams Yanowitz, 1983), la importante variabilidad existente en la determinación del umbral anaeróbico por los métodos antes citados cuando la realizan distintos observadores, ha llevado al desarrollo de un método de detección del umbral anaeróbico no dependiente de valoraciones subjetivas por parte de los observadores (Beaver, Wasserman, Whipp, 1986). Este método, conocido como la V slope, se basa en la utilización de un análisis de regresión computerizado de las pendientes de  $\text{VCO}_2$  versus  $\text{VO}_2$ .

De esta forma se detecta el comienzo del exceso de la producción de  $\text{CO}_2$  generado por el tamponamiento de hidrogeniones.

Los objetivos de este estudio son:

1. Observar la correlación existente entre los distintos métodos visuales de determinación del umbral anaeróbico ventilatorio entre sí y con el método de la V-slope.
2. Observar la concordancia entre observadores en la determinación del umbral según los métodos citados.

## Material y métodos

Se dispone de un total de 14 pruebas de esfuerzo realizadas en una población de 12 individuos, 6 hombres y 6 mujeres. La media (+/- DE) de edad y características antropométricas se detallan en la Tabla 1.

Ocho de las pruebas se realizaron sobre cinta y las seis restantes sobre cicloergómetro. El protocolo en cinta (Powerjog) consistió en un calentamiento a 4 Km/h en las mujeres y a 6 Km/h en los hombres, durante 2 min. A continuación se realizaron incrementos de 2 Km/h cada 2 min. hasta el agotamiento. La pendiente fue constante desde el calentamiento hasta el final de la prueba. Dicha pendiente era de un 5%. El resto de las pruebas se realizó sobre cicloergómetro de freno mecánico Monark 818. El protocolo consistió en 3 min. de recogida de datos en reposo, tras los cuales, se inició el pedaleo a 50 revoluciones por minuto, empezando por 50 watos en mujeres y 75 en hombres. Los aumentos de carga fueron de 25 watos cada minuto hasta el agotamiento.

	EDAD	TALLA	PESO	% G	% M	% O
I.F.B.	19	183.3	77.7	9.8	47.4	18.7
J.G.A.	15	164.7	64.6	10.5	49.6	15.8
M.M.M.	21	161	55.7	11.0	50.6	17.5
J.R.B.	21	176.9	78.6	10.2	49.8	16.0
A.S.P.	17	166.6	58.2	10.5	52.2	16.4
J.V.R.	21	173.0	63.5	10.3	49.2	16.4
P.S.R.	17	177.7	66.0	10.0	48.1	17.8
M.G.R.	18	185.1	75.9	14.9	46.6	17.6
M.M.S.	15	179.0	71.8	13.7	49.4	16.0
T.V.J.	21	177.5	68.0	10.8	50.9	17.5
Z.C.	26	193.0	78.3	10.8	50.7	17.5
F.L.B.	29	168.3	68.6	13.6	46.1	16.2
$\bar{X}$	20.5	176.8	69.6	11.3	49.3	16.9
SD	4.3	10.1	7.9	1.6	1.8	0.9

**Taula 1:** Dades antropomètriques dels esportistes de l'estudi.  
**Tabla 1:** Datos antropométricos de los deportistas del estudio.

piració a respiració, mitjançant un sistema computitzat integrat (Medical Graphics). Els individus respiraren a través d'una mascareta de baixa resistència (48mm H<sub>2</sub>O a 600 l/min. Hans Rudolph 7900) amb un espai mort de 185 ml. El flux respiratori fou mesurat amb pneumotacògraf Hans Rudolph, connectat a un transductor de pressió diferencial (Validyne DP 250), de precisió +/- 2 cm d'aigua i en rang de +/- 8v. El rang en el qual el sistema té un comportament lineal amb unes desviacions mai més grans de 1,1% és de 0.2-1000 l/min. El pneumotacògraf fou mantingut a una temperatura constant de 37°C. El calibratge fou realitzat introduint els valors de volums coneguts d'aire ambiental.

L'anàlisi de gasos es féu amb un analitzador de CO<sub>2</sub> amb doble feix d'infrarojos de rang 0 a 10% d'exactitud +/- 0.02% i amb un analitzador de O<sub>2</sub> de cèl·lula de zirconi de rang 0 a 100% d'exactitud +/- 0.05%. Mescles de gasos de concentració coneguda foren usades per al calibratge dels analitzadors

Durante el ejercicio incremental las respuestas ventilatorias y el intercambio de gases fueron medidas respiración a respiración en un sistema computizado integrado (Medical Graphics). Los individuos respiraron a través de una mascarilla de baja resistencia (48 mm H<sub>2</sub>O a 600 l/min. Hans Rudolph 7900) con un espacio muerto de 185 ml. El flujo respiratorio fue medido con neumotacógrafo Hans Rudolph, conectado a un transductor de presión diferencial (Validyne DP 250), de precisión +/- 2 cm de agua y en un rango de +/- 8v. El rango en el cual el sistema tiene un comportamiento lineal con unas desviaciones nunca mayores al 1% es de 0.2-1000 l/min. El neumotacógrafo fue mantenido a una temperatura constante de 37°C. La calibración fue realizada por la introducción de los valores de volúmenes conocidos de aire ambiental.

El análisis de gases se hizo con un analizador de CO<sub>2</sub> con doble haz de infrarrojos de rango 0 a 10% de exactitud +/- 0.02% y con un analizador de O<sub>2</sub> de célula de zirconio de rango 0 a 100% de exactitud

de gasos. El càlcul computeritzat fou realitzat per un ordinador Fujitsu 386 20 MHz de velocitat de procés, 1 Mb de memòria a disc dur de 40 Mb.

La freqüència cardíaca i l'enregistrament electrocardiogràfic foren monitoritzats de manera contínua durant tota la prova mitjançant una derivació CM 5 bipolar.

Es determinà el llindar ventilatori de manera computeritzada utilitzant la metodologia descrita per Beaver (Beaver et al., 1986). Posteriorment quatre observadors familiaritzats amb els mètodes de determinació del llindar anaeròbic l'assenyalaren visualment en gràfiques en les quals dibuixaven els diferents paràmetres ventilatoris (VE, VCO<sub>2</sub>, RER, VE/VO<sub>2</sub>) versus el temps. L'esmentada determinació es realitzà tant en valors absoluts (VO<sub>2</sub> en l/min.) com relatius (% del VO<sub>2</sub> màxim) buscant de cada paràmetre la mitjana entre observadors (Taula 2 i 3). Degut a la participació dels observadors en la valoració funcional dels subjectes, les gràfiques utilitzades per determinar el llindar anaeròbic foren anònimes.

tud +/- 0.05%. Mezclas de gases de concentración conocida fueron usados para la calibración de los analizadores de gases. El cálculo computerizado fue realizado por un ordenador Fujitsu 386 20 MHz de velocidad de proceso, 1 Mb de memoria y disco duro de 40 Mb.

La frecuencia cardíaca y el registro electrocardiográfico fueron monitorizados de modo continuo durante toda la prueba mediante una derivación CM5 bipolar.

Se determinó el umbral ventilatorio de forma computerizada utilizando la metodología descrita por Beaver (Beaver et al., 1986). Posteriormente cuatro observadores familiarizados con los métodos de determinación del umbral anaeróbico lo señalaron visualmente en gráficas en las que se trazaban los distintos parámetros ventilatorios (VE, VCO<sub>2</sub>, RER, VE/VO<sub>2</sub>) versus el tiempo. Dicha determinación se realizó tanto en valores absolutos (VO<sub>2</sub> en l/min.) como relativos (% del VO<sub>2</sub> máximo buscando para cada parámetro la media entre observadores (Tablas 2 y 3). Debido a la participación de

	X	SD
Ve	1944.3	710.5
Vco2	1924.0	701.0
Ve/Vo2	2375.4	603.0
RER	2002.1	625.7
V-slope	1578.7	761.4

**Taula 2:** Mitjana i desviació estàndard entre observadors de les determinacions del llindar anaeròbic dels diferents paràmetres en valors absoluts.

**Tabla 2:** Mediana y desviación estándar entre observadores de las determinaciones del umbral anaeróbico de los diferentes parámetros en valores absolutos.

	X	SD
Ve	28.2	9.1
Vco2	27.9	9.0
Ve/Vo2	34.6	9.5
RER	28.9	8.7
V-slope	22.6	9.6

**Taula 3:** Mitjana i desviació estàndard entre observadors de les determinacions del llindar anaeròbic dels diferents paràmetres en valors relatius.

**Tabla 3:** Mediana y desviación estándar entre observadores de las determinaciones del umbral anaeróbico de los diferentes parámetros en valores relativos.

L'estudi estadístic es realitzà mitjançant el paquet de software Microsta.

## Resultats

Els resultats obtinguts en la matriu de correlació demostren que, tant en valors absoluts, com relatius (taules 4 i 5), la millor correlació amb el llindar trobat a través de la V-slope s'obté utilitzant la VE.

Les correlacions de valors absoluts són bones quan s'utilitza el VE/VO<sub>2</sub> i la VCO<sub>2</sub> i moderades

los observadores en la valoración funcional de los sujetos, las gráficas utilizadas para la determinación del umbral anaeróbico fueron anónimas.

El estudio estadístico se realizó mediante el paquete de software Microsta.

## Resultados

Los resultados obtenidos en la matriz de correlación demuestran que tanto en valores absolutos como en relativos (Tablas IV y V) la mejor correla-

	VE	VCO <sub>2</sub>	VE/VO <sub>2</sub>	RER	V-SLOPE
VE	1.000				
VCO <sub>2</sub>	0.965	1.000			
VE/VO <sub>2</sub>	0.677	0.660	1.000		
RER	0.846	0.915	0.772	1.000	
V-SLOPE	0.843	0.735	0.711	0.624	1.000

**Taula 4.** Matriu de correlació dels diferents paràmetres del llindar anaeròbic en valors absoluts.

**Tabla 4.** Matriz de correlación de los distintos parámetros del umbral anaeróbico en valores absolutos.

	VE	VCO <sub>2</sub>	VE/VO <sub>2</sub>	RER	V-SLOPE
VE	1.000				
VCO <sub>2</sub>	0.957	1.000			
VE/VO <sub>2</sub>	0.620	0.603	1.000		
RER	0.824	0.906	0.718	1.000	
V-SLOPE	0.818	0.697	0.584	0.554	1.000

**Taula 5.** Matriu de correlació dels diferents paràmetres del llindar anaeròbic en valors relatius.

**Tabla 5.** Matriz de correlación de los distintos parámetros del umbral anaeróbico en valores relativos.

quan s'utilitza el RER. En valors relatius s'obtenen correlacions moderades de VE/VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub> i RER.

Quan es correlacionen els mètodes de medició subjectiva (VE/VO<sub>2</sub>, VE, VCO<sub>2</sub>, RER) entre sí s'observa que els pitjors resultats s'obtenen quan s'utilitza el VE/VO<sub>2</sub>.

Quan a la diferència entre observadors, s'aprecien importants variacions en els valors obtinguts en el diferents paràmetres. Així els valor màxim i mínim de les mitjanes per a VE, VCO<sub>2</sub>, VE/VO<sub>2</sub>, RER foren respectivament: 1777.5-2217.0, 1724.7-2230.5, 1919.5-2748.9, 1774.5-2443.7 (Taula 6).

## Discussió

Dels resultats exposats deduem que l'objectivitat més gran a l'hora de determinar el llindar anaeròbic

ció amb el llindar trobat a través de la V-slope se obté utilitzant la VE.

Les correlacions en valors absoluts són bones quan es utilitza el VE/VO<sub>2</sub> i la VCO<sub>2</sub> i moderades quan es utilitza el RER. En valors relatius se obtenen correlacions moderades per a VE/VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub> i RER.

Al correlacionar els mètodes de medició subjectiva (VE/VO<sub>2</sub>, VE, VCO<sub>2</sub>, RER) entre sí se observa que els peors resultats se obtenen quan utilitzem el VE/VO<sub>2</sub>.

En quant a la diferència entre observadors, se aprecien importants variacions en els valors obtinguts per als diferents paràmetres. Així els valors màxim i mínim de les mitjanes per a VE, VCO<sub>2</sub>, VE/VO<sub>2</sub>, RER, foren respectivament: 1777.5-2217.0, 1724.7-2230.5, 1919.5-2748.9, 1774.5-2443.7 (Tabla VI).

		VE	VC02	VE/VO2	RER
1	X	1777.5	1724.7	1919.5	1774.5
	SD	702.9	735.9	528.7	581.6
2	X	1908.0	1901.5	2738.0	1902.5
	SD	755.3	833.3	747.4	753.7
3	X	1875.9	1838.9	2748.9	2443.7
	SD	727.8	680.3	796.1	831.3
4	X	2217.0	2230.5	2024.7	1883.6
	SD	843.6	767.9	670.5	810.3

**Taula 6.** Diferències en les mitjanes dels diferents paràmetres entre els observadors.  
**Tabla 6.** Diferencias en las medias de los diferentes parámetros entre los observadores.

ventilatori, emprant mètodes visuals, es dona en la utilització de la ventilació.

Com a l'estudi de Caiozzo (Caiozzo, Davis, Ellis, Azus, Vandagriff, Prietto, McMaster, 1982) s'obtenen correlacions entre moderades i bones entre els diferents mètodes de determinació subjectiva, però contràriament a aquest no s'obtenen els pitjors resultats quan fem el quocient respiratori, sinó mitjançant la utilització de l'equivalent respiratori.

Degut a les àmplies diferències existents entre observadors, és aconsellable la utilització del mètode de la V-slope per a determinar el llindar anaeròbic. En cas que no sigui possible la determinació del llindar per aquest mètode, es determinarà mitjançant la VE.

## Discusión

De los resultados expuestos deducimos que la mayor objetividad a la hora de determinar el umbral anaeróbico ventilatorio, empleando métodos visuales, se da en la utilización de la ventilación.

Al igual que en el estudio de Caiozzo (Caiozzo, Davis, Ellis, Azus, Vandagriff, Prietto, McMaster, 1982) se obtienen correlaciones entre moderadas y buenas entre los distintos métodos de determinación subjetiva, pero a diferencia de éste no se obtienen los peores resultados cuando empleamos el cociente respiratorio, sino mediante la utilización del equivalente respiratorio.

Debido a las amplias diferencias existente entre observadores, es aconsejable la utilización del método de la V-slope para la determinación del umbral anaeróbico. En aquellos casos en que la determinación del umbral por este método no sea posible, la determinación del mismo se hará a través de la VE.

## Bibliografia

---

1. BEAVER, W.L.; WASSERMAN, K.; WHIPP, B.J.: "A new method for detecting the anaerobic threshold by gas exchange". *J. Appl. Physiol.* 6: 2.020-2.027, 1986.
2. BROOKS, G.A.: "Anaerobic threshold: Review of the concept and directions for future research" *Med. Sci. Sports. Exer.* 17: 22-34, 1985.
3. BROOKS, G.A.: "Response to Davis' Manuscript". *Med. Sci. Sports. Exer.* 17: 19-21, 1985.
4. CAIOZZO, V.J.; DAVIS, J.A.; ELLIS, J.F.; AZUS, J.L.; VANDAGRIFF, R.; PRIETTO, C.A.; McMASTER, W.: "A comparasion of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold" *J. Appl. Physiol. Resp. Envir. Exercise. Physiol.* 53 (5): 1.184-1.189, 1982.
5. DAVIS, J.A.; VODAK, P.; WILMORE, J.H.; VODAK, J.; KURTZ, P.: "Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise". *J. Appl. Physiol.* 41: 55-550, 1976.
6. GAESSER, G.A.; POOLE, D.C.: "Lactate and ventilatory thresholds: Disparity in time course of adaptations to training." *J. Appl. Physiol.* 61 (3): 999-1.004, 1986.
7. GLADDEN, L.B.; YATES, J.W.; STREMEL, R.W.; STAMFORD, B.A.: "Gas exchange and lactate anaerobic thresholds: Inter-and intraevaluator agreement". *J. Appl. Physiol.* 58 (6): 2.082-2.089, 1985.
8. HUGUES, E.F.; TURNER, S.C.; BROOKS, G.A.: "Effects of glycogen depletion and pedaling speed on anaerobic threshold". *J. Appl. Physiol.* 52: 1.598-1.607, 1982.
9. IVY, J.L.; WHITERS, R.T.; VAN HANDEL, P.J.; ELGER, D.H.; COSTILL, D.L.: "Muscle respiratory capacity and fiber tipe as deternimants of the lactate threshold". *J. Appl. Physiol.* 48: 523-527, 1980.
10. NAIMARK: "Continuos measurement of ventilatory exchange ratio during exercise". *J. Appl. Physiol.* 19: 644-652, 1964.
11. POOLE, D.C.; GAESSER, G.A.: "Response of ventilatory and lactate thresholds to continous and interval training". *J. Appl. Physiol.* 58: 1.115-1.121, 1985.
12. REINHARD, U.: "Determination of anaerobic threshold by the ventilation equivalent in normal individuals". *Respiration* 38: 36-42, 1979.
13. WASSERMAN, K.: "Anaerobic threshold and respiratori gas exchange during exercise". *J. Appl, Physiol.* 35: 236-243, 1973.
14. WASSERMAN, K.: "Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patiens durind exercise". *Am. J. Cardiol.* 14: 844-852, 1964.
15. WASSERMAN, K.; WHIPP, B.J.: "Exercise physiology in health and disease". *Am. Rev. Respir. Dis.* 112: 219-249, 1975.
16. WHIPP, B.J.; DAVIS, J.A.; TORRES, F.; WASSERMAN, K.: "A test to determine parameters of aerobic funtion during exercise". *J. Appl. Physiol.* 50: 217-221, 1981.
17. YEH, M.P.; GARDNER, R.M.; ADAMS, T.D.; YANOWITZ, F.G.; CRAPO, R.O.: "Anaerobic threshold: Problems of determination and validation". *J. Appl. Physiol.* 55: 1.178-1.186, 1983.

