

# Umbral anaeróbico en nadadores de alto nivel: comparación de los resultados con los métodos metabólico y ventilatorio

D. Galiano Orea, J.A. Gutiérrez Rincón, P. Wildeboer

III CONGRESO INTERNACIONAL DE MEDICINA DEL DEPORTE DE EUSKADI

## RESUMEN

Se establece, en estudio realizado sobre 7 nadadores, una posible correlación entre el umbral anaeróbico determinado por métodos metabólico y ventilatorio. Para ello se aplica en todos los casos un protocolo único, tanto en los tipos de esfuerzo realizados como en el de las determinaciones gasométricas y analíticas.

Las comprobaciones se hicieron siguiendo pautas confirmadas universalmente, con ligeras variantes que concedieran una mayor fiabilidad a los resultados. Los controles fueron efectuados en cada uno de los dos macrociclos de entrenamiento en una temporada.

Se llega a la conclusión de que es aconsejable el uso de ambos métodos de determinación del umbral anaeróbico (ventilatorio y metabólico), pues la utilización de sólo uno de ellos puede llevar a errores de interpretación y diagnóstico.

## RESUM

En un estudi realitzat sobre 7 nedadors, s'estableix una possible correlació entre el llindar anaeròbic determinat per mètodes metabòlic i ventilatori. Per a això, hom aplica en tots els casos un protocol únic, tant en els tipus d'esforç realitzat com en el de les determinacions gasomètriques i analítiques.

Les comprovacions es varen fer seguint pautes confirmades universalment, amb lleugeres variants que

concedissin més fiabilitat als resultats. Els controls foren efectuats a cadascun dels dos macrociclos d'entrenament en una temporada.

Hom arriba a la conclusió que és aconsellable l'ús d'ambdós mètodes de determinació del llindar anaeròbic (ventilatori i metabòlic), ja que la utilització d'un de sol pot portar a errors d'interpretació i de diagnòstic.

## SUMMARY

In a study carried out on 7 swimmers, a possible correlation is established between the anaerobic threshold determined by the metabolic method and that determined by the ventilatory method. For this purpose a sole protocol was applied in all the cases, in both the types of effort made and in the gasometric and analytical determinations.

The tests were carried out following universally confirmed patterns, with slight variations to give a greater reliability to the results, in each of the two macrocycles of training in one season.

The conclusion is drawn that the use of both methods of determining the anaerobic threshold (ventilatory and metabolic) is advisable, since the use of only one of these may lead to errors in interpretation and diagnosis.

## Introducción

A pesar de los numerosos estudios de fisiología del ejercicio, en el mundo de la Medicina del deporte, han sido pocos los argumentos utilizados para la aptitud física<sup>7</sup> y el análisis del rendimiento deportivo.

Con frecuencia necesitamos programar el ejercicio físico buscando objetivos específicos, teniendo en cuenta que cada deportista posee un conjunto de aptitudes y limitaciones, previas y en el desarrollo de su "performance".

Factores como características específicas del deporte en cuestión, así como el juego "oferta-aporte", condicionan, en innumerables casos, a los sistemas productores de energía y sus mecanismos de aprovechamiento.

Se observa necesario una clasificación de las diferentes modalidades deportivas que permitan enumerar las variables físicas, fisiológicas y psicológicas, como más importantes para orientar las formas de evaluación.

La sustentación genética del individuo, estructural y funcional, se encuentra sometida desde la edad prenatal a innumerables estimulaciones internas, externas directas (A. Montagu) y ambientales.

De siempre se han cuestionado los aspectos cualitativos de estos estímulos, que bajo la conveniencia de la edad y medio deportivo, presentan como determinante la variable del entrenamiento, su control y orientaciones. Los mecanismos oxidativos (metabolismo aeróbico) proveen de energía a las demandas causadas por ejercicios de baja intensidad (Submáximos). Ante ejercicios de mayor intensidad el metabolismo aeróbico es insuficiente para cubrir las necesidades energéticas requiriendo la incorporación de una nueva vía, anaeróbica, con inevitable producción de ácido láctico.

En el primer caso la capacidad de trabajo depende de la capacidad de captar, transportar y utilizar oxígeno; el consumo de oxígeno, clásicamente, ha sido utilizado como indicador del nivel de rendimiento físico del deportista.

En el segundo caso, poniendo en duda el consumo de oxígeno como tal indicador, y sustentando el margen de error del  $\text{VO}_2$  máx. entre un 15 y un 25%<sup>15</sup> se ha establecido la importancia de la transición entre el metabolismo aeróbico al metabolismo anaeróbico, que por sus connotaciones fisiológicas se ha dado a denominar Umbral de Lactato, Punto de partida, Umbral anaeróbico, Principio de lactato y Principio de acumulación del lactato en sangre (DALS), entre otros.

El término introducido por Wasserman establece un momento en que la acumulación de ácido láctico supera los niveles de reposo, con acidosis metabólica, ocasionando característicos cambios en el intercambio gaseoso pulmonar.

Por tanto, puede decirse que el "Umbral Anaeróbico" clasifica al ejercicio físico según su intensidad, presentando la mejora del rendimiento deportivo como un "límite" alternante, de cuyo conocimiento dependerá el control de la actividad por parte de preparadores, deportistas y especialistas.

En condiciones de anaerobiosis, al ácido láctico se forma en el músculo a partir del ácido pirúvico y en presencia del enzima láctico-deshidrogenasa. Cuando el aporte de oxígeno es insuficiente, el ácido láctico aumenta en el músculo, difundiendo en la sangre, aunque no con una total homogeneidad espacial y temporal.

El ácido láctico es, por tanto, un índice de la deuda de oxígeno.<sup>11</sup>

Al inicio del ejercicio su concentración hemática comienza a aumentar ya que la disponibilidad muscular de oxígeno no se puede aumentar de forma inmediata, posteriormente deja de aumentar, incluso se reduce si el ejercicio se mantiene de forma estacional. Si el esfuerzo es de mayor intensidad su concentración continúa aumentando. La lactacidemia, pues, también es un índice de la producción de energía por un mecanismo anaeróbico.

Si un deportista entrenado debe aumentar su cantidad de trabajo relativo para obtener una lactacidemia igual al de un sedentario<sup>14</sup> y si la concentración de lactato mantiene correlación con las intensidades relativas al ejercicio, se puede estipular que un entrenamiento correspondiente a una cierta concentración de lactato en sangre, puede suministrar un estímulo óptimo para favorecer las adaptaciones fisiológicas producidas por unas determinadas pautas de entrenamiento.

Registrar las adaptaciones fisiológicas, ventilatorias y metabólicas, durante diferentes intensidades de ejercicio, así como cuantificar las cargas de entrenamiento en vistas a las mejoras del rendimiento deportivo, ha sido nuestro objetivo como propósito de aportar una sistemática de control en nadadores de alto nivel. Teniendo en cuenta que las metodologías más comúnmente utilizadas para este propósito, presentan unas deficiencias por sí solas, en cuanto a solucionar las interrogantes que el entrenador se plantea para el mejor conocimiento de los efectos de su programa de entrenamiento.

## Material y método

Se han estudiado 7 nadadores, 4 de sexo masculino (edad media:  $16,5 \pm 0,5$ ) y 3 de sexo femenino (edad media:  $14,6 \pm 0,47$ ), *de alto rendimiento deportivo*. Los datos de talla, peso, % grasa y prueba específica, se expresan en las tablas I y II, habiéndose recogido mediante el siguiente utillaje:

– Balanza SpydI de precisión hasta 100 gramos.

- Tallómetro de base horizontal de precisión hasta 1 mm.

- Compás de pliegues cutáneos, modelo Harpender, de precisión hasta 0,2 mm.

Se realiza control de laboratorio con prueba de esfuerzo máxima en cicloergómetro (marca Minjhart, modelo Kem-2) y analizador de gases (marca Minjhart, modelo Oxycon-4) bajo el siguiente protocolo:

- 5 minutos de reposo para estabilización de datos basales.
- 4 minutos de pedaleo sin carga para adecuación mecánica.
- Incrementos de carga de 25 W. cada minuto, hasta máximo esfuerzo.
- 5 minutos de recuperación.
- Recogida de parámetros: frecuencia cardíaca (F.C.) volumen espiratorio (V.E.), captación de O<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub>), producción de CO<sub>2</sub> (VCO<sub>2</sub>), cociente respiratorio (R) y equivalente respiratorio (EQ), cada 30 segundos.
- Determinación del Umbral Anaeróbico por cuantificación del punto de incremento no lineal de las curvas VE, VCO<sub>2</sub> y R, en relación a la del Consumo de oxígeno.

Se realiza determinación de lactacidemia bajo la metodología del test de las dos distancias de MADER, con las siguientes puntualizaciones:

- Distancia: 200 mts. en primer estilo
- 15 minutos de reposo entre las dos series
- Toma de muestras en los minutos: Basal, 2', 3', 4', 5', tras realización del esfuerzo.
- Recogida de F.C. por palpación carotídea por parte del entrenador.
- Registro de tiempos por cronometraje electrónico directo.

Se recoge valor de lactacidemia con el mismo minutaje tras el nado de la misma prueba específica de los Campeonatos de Cataluña de Invierno.

El intervalo entre ambos test metabólicos fue de una semana.

La metodología de análisis de laboratorio para la determinación de la lactacidemia fue la descrita por Bazket y Summerson, modificada por A. Balagué.

Se emplea sistema de programación BASIC por microcomputación APPLE-IIIC, para cálculo estadístico y graficación de U.A. ventilatorio.

## Resultados

En la tabla I se reflejan los parámetros, de los nadadores sometidos a estudio, de edad, sexo, talla, peso, porcentaje graso y prueba específica dentro del deporte.

En la tabla II aparecen las medias globales de ambos grupos (femenino y masculino) en cuanto a edad, talla, peso y porcentaje graso.

En las tablas III y IV hemos representado los

sexo	prueba	estilo	edad	talla	peso	% gr.
♀	200	braza	15	170.0	55	10.29
♂	200	braza	17	175.0	69.1	9.79
♀	200	libre	14	180.0	68	13.46
♂	200	marip.	16	175.0	68.2	10.14
♀	200	marip.	15	160.0	55.7	14.35
♂	200	libre	17	170.5	61.5	10.37
♂	200	libre	16	185.5	83.7	12.74

TABLA I

sexo	N	edad	talla	peso	% gr.
♀	3	14.6 0.47	170.0 8.16	59.56 5.97	12.7 1.74
♂	4	16.5 0.50	176.3 5.64	70.62 8.09	10.76 1.16
♀/♂	7	15.7 1.03	173.7 7.50	65.80 9.09	11.59 1.73

TABLA II

valores de VO<sub>2</sub> máx. y constituyentes del Umbral Anaeróbico, para cada nadador, agrupados por sexo y muestra total.

La tabla V expresa las lactacidemias encontradas en el test de las dos distancias de Mader.

La figura 1 representa las pendientes de base lineal de toda la muestra estudiada para los niveles de lactacidemia de 2, 4, 6, 8 y 12 mmol, bajo el patrón variable de las distintas velocidades de nado para cada prueba y estilo.

La figura 2 extrapola dos ejemplos después del test para programación standard de las velocidades de nado en entrenamiento.

La tabla VI presenta los valores comparativos entre las lactacidemias del test de control y las alcanzadas en la competición.

Expresamos en la figura 3 la situación de los valores de lactacidemia sobre velocidad, bajo los

VO <sub>2</sub> MAX	U. ANAEROBICO			
	vo <sub>2</sub> /k.	%	W	f.c.
58.7	45.9	78.1	225	174
75.9	52.8	69.5	300	176
44.09	35.6	80.7	200	172
60.1	43.4	72.2	225	148
47.8	36.8	76.9	175	156
67.3	51.5	76.5	250	156
53.7	42.2	78.5	300	156

TABLA III

	VO <sub>2</sub> MAX	U. ANAEROBICO			
		vo <sub>2</sub> /k.	%	W	f.c.
♀	50.1 6.2	39.4 4.59	78.5 1.6	200 20	167 8
♂	64.2 8.2	47.4 4.71	74.1 3.5	268 32	159 10
♀/♂	58.2 10.1	44.02 6.13	76.0 3.6	239 44	162 10

TABLA IV

ejemplos, con modificación del nivel metabólico competitivo.

Representamos el eje de coordenadas de la figura 4 las variaciones en la sistemática del entrenamiento anaeróbico intensivo para cada uno de los nadadores según las metodologías de programación utilizadas.

Aparecen de forma esquemática en la figura 5

las características de los dos macrociclos en natación, sus posibilidades de entrenamiento y la metodología de control.

LACTACIDEMIAS	
75 %	100 %
5.1	8.3
4.4	13.6
5	7.2
5.8	13.7
5.5	11.5
5.8	9.1
5	9.1

TABLA V

LACTACIDEMIAS	
100 %	COMPET.
8.3	13.2
13.6	16.6
7.2	9.6
13.7	14.2
11.5	13.2
9.1	10
9.1	13.7

TABLA VI

p < 0.005

LACTACIDEMIA  
(m mol/l)

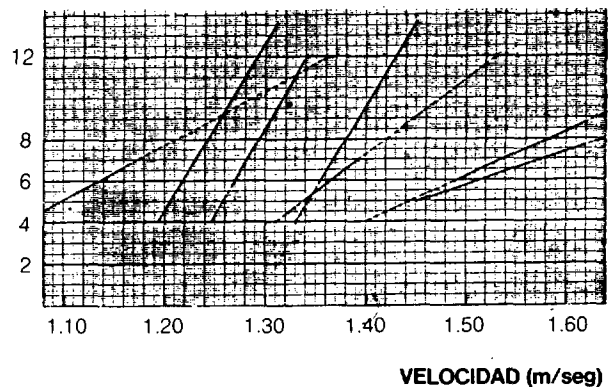


FIGURA 1

LACTACIDEMIA

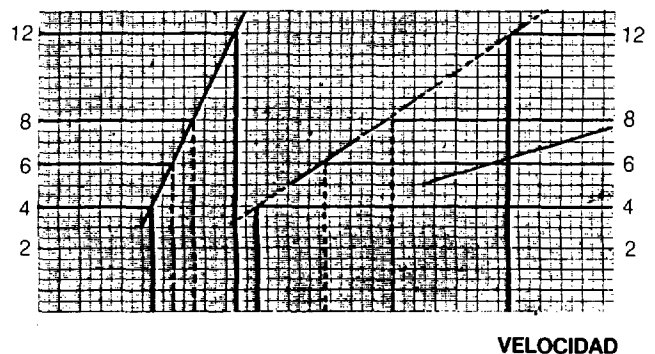


FIGURA 2

## LACTACIDEMIA

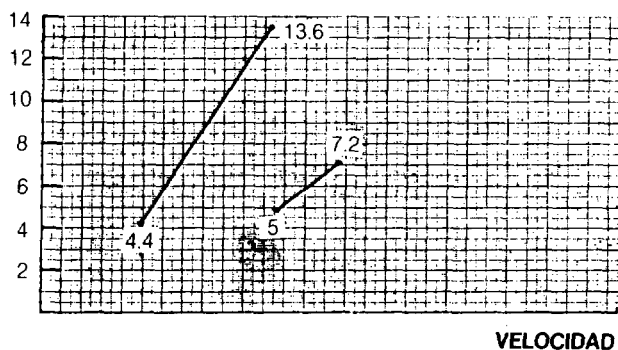
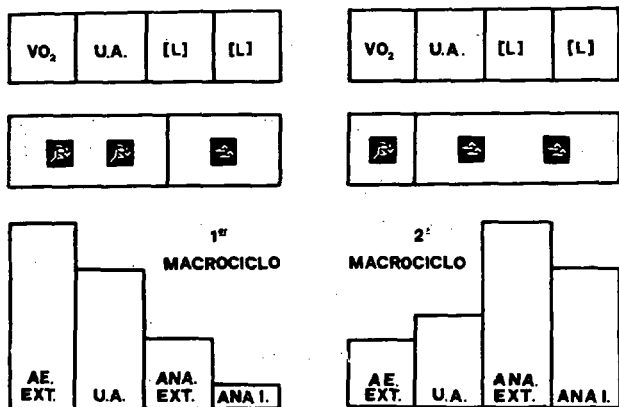
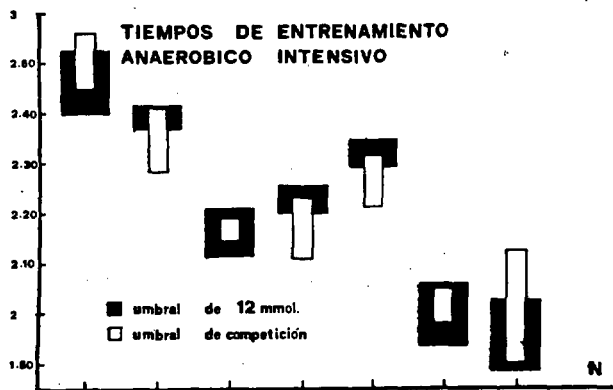


FIGURA 3



## Comentario

Tras ejercicios maximales se obtienen altas concentraciones de lactato en sangre y músculo, parte se almacena en los "músculos activos" siendo utilizado dentro de ellos. Al ser el lactato una molécula pequeña y fácilmente difusible puede ser transportada rápidamente a otros lugares donde es metabolizado o excretado. No obstante se han observado diferentes concentraciones en músculo y sangre (arterial y venosa, sobre todo tomadas

en femoral y braquial). Así pues no existe una homogeneidad espacial y temporal de la distribución del lactato en el cuerpo, habiendo sido ésta estimada rigurosamente mediante un modelo matemático y su evaluación cuantitativa.<sup>10</sup>

Coincidente con esta variabilidad en la distribución incluimos el deporte de la natación en lo que respecta la diferencia en musculaturas activas a otros deportes.

El entrenamiento en natación se resume en dos grandes periodos (macrociclos). El primero corresponde a la llamada "temporada invernal" y sus características son de un amplio volumen de trabajo físico de intensidad baja. El segundo macrociclo, denominado "temporada de verano", propugna un descenso del volumen de trabajo previo acompañado de un aumento en la intensidad de este. Consideramos, pues, el deporte de la natación como uno de los más característicos para poder delimitar con exactitud suficiente que las pautas de trabajo/entrenamiento aeróbico/anaeróbico poseen una traducción en la condición física del nadador.

Sería en la primera fase de la temporada donde las cualidades aeróbicas serán predominantes en la pauta de preparación, y por consiguiente el conocimiento de la cuantificación-seguimiento de estos parámetros aeróbicos, serán la información que el entrenador nos solicite durante este periodo.

La transición del metabolismo aeróbico al metabolismo anaeróbico (U.A.) puede ser analizada, bajo diferentes aspectos de utilidad, según el macrociclo de entrenamiento así como la metodología empleada para su determinación.

a) Primer macrociclo:

a.1.) Método ventilatorio: Parámetros como: carga de trabajo en U.A., VO<sub>2</sub>/kgr. en U.A. y % del VO<sub>2</sub> máx. en U.A., pueden ser evaluados para observar las mejoras, o no, atribuidas a las pautas de entrenamiento impuestas. Será la Frecuencia Cardíaca en el U.A. la variable práctica con posibilidades de diversificarse para encontrar mejorar específicas (carrera, nadar, pedalear). La metodología ventilatoria es un paso previo a la obtención del VO<sub>2</sub> máx, parámetro de expresión eficaz del entrenamiento en este macrociclo. Observamos la dificultad de controlar la F.C. en el medio específico acuático (pulsómetro).

a.2.) Método metabólico: Nos permite una especificidad del propio esfuerzo así como una facilidad de control del mismo pues pueden obtenerse los tiempos para los entrenamientos. Consideramos que el empleo de determinaciones metabólicas para este macrociclo presenta ciertos inconvenientes:

a.2.1.) No extrapolación de resultados a otro tipo de esfuerzo, aunque se podría realizar especificando la toma de lactatos en diferentes ejercicios.

- a.2.2.) Vistos los medios utilizados para el control del entrenamiento de forma habitual, no se expresa la obtención del  $VO_2$  máx. (Turbiña).
- a.2.3.) En este momento de la temporada desconocemos los valores reales de lactacidemia, excepto los extrapolables de 4, 6, 8 y 12 mmoles, cada vez menos usuales, con tendencia al "Umbral Anaeróbico individual".
- a.2.4.) Entendemos de poca trascendencia los parámetros específicos de trabajo de alta intensidad aneróbica para la situación actual del macrociclo.
- a.2.5.) Uso excesivo de métodos cruentos.
- b) Segundo macrociclo:
- b.1.) Método ventilatorio: Confirma que el entrenamiento del primer macrociclo ha sido efectivo (o no), descubriendo la ventaja y utilidad de los test cuando son repetitivos. Presenta el inconveniente de la desinformación en el campo de trabajo anaeróbico, fundamental para el entrenador y piscina, en este macrociclo.
- b.2.) Método metabólico: Generaliza las intensidades, presuponiendo valores teóricos, sin tener en cuenta aspectos individuales como estilo, prueba y complejidad psicológica. Es el único método capaz de traducir los resultados en parámetros de velocidad (representados en tiempos) en intervalos de entrenamiento anaeróbico, tanto extensivo como intensivo, objetivo preferencial de

este macrociclo. Observamos la dificultad de su- poner concentraciones de lactacidemia para la competición, si por la predisposición de la temporada en natación y las demandas energéticas de ella, pueden obtenerse a niveles de óptima utilidad en situación competitiva.

Consideramos, pues, como planificación metodológica del control del U.A. en natación:

- 1.) Método ventilatorio en el primer macrociclo.
- 2.) Método metabólico en el segundo macrociclo sustituyendo las lactacidemias en el test de entrenamiento al 100% por los valores encontrados en competición.

## Conclusiones

1. El uso del método ventilatorio para el cálculo del umbral aneróbico no es fácilmente extrapolable a la natación aunque permite diversificar el trabajo y evaluar en concreto el consumo de oxígeno.
2. El método metabólico es el más fácilmente aplicable para la práctica del entrenamiento aunque nos mantiene en desconocimiento de la capacidad aeróbica máxima. Las metodologías más comúnmente utilizadas no tienen en cuenta la respuesta individual de la competición.
3. Proponemos el uso conjunto de ambos métodos, por ser complementarios al evaluar el esfuerzo máximo bajo la planificación metodológica de nuestro estudio.

## Bibliografía

1. ASTRAND, P.O.; RODAHL, K. *Textbook of Work Physiology*. New York; 1977.
2. BANDYOPADHYAY, D.K. Effect of speed and endurance activities on blood pressure, heart rate and blood lactate, and their correlation. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. Vol. 24. nº 2. June 1984.
3. BHATTACHARYA, A.K.; PANDA, B.K.; DAS GUPTA, P.K.; DE, A.K. Pattern of Venous Lactate and Pyruvate after Submaximal Exercise in Athletes Training in Different Disciplines. *Int. J. Sports Med.* 4 (1983).
4. CLARK, L.C.; NOYES, L.K.; GROOMS, T.A.; MOORE, M.S. Rapid micromasurement of lactate in whole blood. *Critical Care Medicine*. Vol. 12 nº 5.
5. DE ROSE, E.H.; RIBEIRO, J.P. Avaliação de Capacidade de Processar Energia. *Sistemas Aeróbico e Anaeróbico*. Fisiologia Esportiva. Brasil.
6. DONOSO, H.; WALTER, T.; NUÑEZ, S.; ARREDONDO, S.; CHADUD, P. Validez del Umbral Anaeróbico estimado a partir de la respuesta ventilatorio a ejercicios de intensidad creciente en cicloergómetro. Departamento de Educación Física. Academia Superior de Ciencias Pedagógicas. Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Universidad de Chile.
7. ECLACHE, J.P.; GOROSTIAGA, E. Importancia de los diferentes factores que modifican la aptitud física. *Archivos de Medicina del Deporte*. Vol. II-Nº 6.
8. FREUND, H.; ZOULUMIAN, P. Lactate After Exercise in Man: I. Evolution Kinetics in Arterial Blood. *Eur. Journal of Applied Physiology* (1981). 46.
9. FREUND, H.; ZOULUMIAN, P. Lactate After Exercise in Man: IV, Physiological Observations and Model Predictions, *Eur. J. Appl. Physiol.* (1981) 46.

10. FREUND, H.; ZOULOUMIAN, D.; OYONO ENGUELLE, S.; LAMPERT, E. Lactate Kinetics after Maximal Exercise in Man. *Medicine Sport Sci.* Vol. 17 (Karger, Basel 1984).
11. GAGGINO, R.; DELFINO, C.; MENICHETTI, G.; ODAGLIA, G. Aspetti metabolici delle prestazioni sportive anaerobiche lattacide massimali. Influenza del trattamento con creatinolo-o-fosfato. *Med. dello Sport.* Vol. 37 n° 2 (Aprile 1984).
12. HOGAN, M.C.; COX, R.H.; WELCH, H.C. Lactate accumulation during incremental exercise with varied inspired oxygen fractions. *The American Physiological Society.* 1983.
13. HOLLMAN, W.; VENRATH, H. *Lavoro Umano: Changes in Lactic and pyruvic acid blood contents after work.* Vol. XI. 1959.
14. HURLEY, B.F.; HAGBERG, J.M.; ALLEN, W.K.; SEALS, D.R.; YOUNG, J.C.; CUDDIHEE, R.W.; HOLLLOSZY, J.O. Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, environmental and exercise physiology.* February 1984. Vol. 56. n° 2.
15. JACOBS, I. Blood Lactate and the Evaluation of Endurance Fitness, *Science Periodical on Research and Technology in Sport.* Settembre 1983.
16. MAGLISCHO, E.W.; MAGLISCHO, C.W.; BISHOP, R.A. Lactate testing for training pace. *Swimming Technique.* May-July. 1982.
17. RIBEIRO, J.P.; DE ROSE, E.H. Limiar Anaeróbico. *Rev Bras. Ciências do Esporte,* 2 (1), 1980.
18. SKINNER, J.S.; McLELLAN, T.H. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res. Q. Am. Alliance Health Phys. Educ. Recreat.* 51. 1980.
19. WASSERMAN, K.; WHIPP, B.J.; KOYAL, S.N.; BEAVER, W.L. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *Journal of Applied Physiology.* Vol: 35, N° 2, August 1973.
20. YOSHIDA, T.; SUDA, Y.; TAKEUCHI, N. Endurance Training Regimen Based Upon Arterial Blood Lactate: Effects on Anaerobic Threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.* (1982). 49.

El control médico de los jugadores y jugadoras de tenis de alto nivel es difícil, debido a sus frecuentes desplazamientos, pero de todas formas debe llevarse a cabo cuanto menos dos o tres veces por año, a menos que aparezca una patología alarmante. El médico se interesará en la exploración de toda anomalía susceptible de descompensar ulteriormente, tanto el sistema cardiocirculatorio como el locomotor, e intentará llegar, mediante los exámenes de laboratorio y sobre el terreno, al estado de forma. Todo accidente, una vez resuelto mediante la oportuna terapéutica, debe obligar a plantearse cada vez el problema de la prevención. (Y. Demarais y colab.)

