
REVISTA INTERNACIONAL DE FÚTBOL Y CIENCIA
Volúmen 2 – Número 1 – 2004
ISSN: 1409-4444

Editor en Jefe

Ph.D. Walter Salazar Rojas
Universidad de Costa Rica
wsalazar@cariari.ucr.ac.cr

Editor Asociado

M.Sc. Gerardo A. Araya Vargas
Universidad de Costa Rica
Universidad Nacional

Consejo Editorial

M.Sc. Cinthya Campos Salazar
Universidad de Costa Rica

M.Sc. Jessenia Hernández Elizondo
Universidad de Costa Rica

M.Sc. Andrea Solera Herrera
Universidad de Costa Rica

Revisores Internacionales

Dr. Fransico Arroyo
México

M.Sc. María M. Beltranena de Enríquez
Guatemala

Dr. Jesús Mora Vicente
España

M.Sc. María Clara Rodríguez Salazar
Colombia

Dr. Robelius de Bortoli
Brasil

Nuestra Misión

La Escuela de Educación Física y Deportes de la Universidad de Costa Rica, publica semestralmente la *Revista Internacional de Fútbol y Ciencia*[®]. El propósito de esta revista es divulgar lo más actual de la producción científica, en el campo de las Ciencias del Movimiento Humano aplicadas al Fútbol. Esta publicación acepta investigaciones originales, revisiones de literatura científica, estudios de casos y artículos de carácter técnico, incluyendo temas de las diversas áreas de las Ciencias del Movimiento Humano, como la Fisiología del Ejercicio, Psicología del Deporte, Biomecánica, Entrenamiento Deportivo, Medicina del Deporte, entre otras.

Pese a que los trabajos que se publican en esta revista son revisados minuciosamente por el Consejo Editorial, los editores no se responsabilizan por alguna omisión, error o inexactitud en la información publicada. Cuando se menciona en algún artículo, una marca comercial, no necesariamente implica que los editores la apoyen.

Los trabajos publicados son propiedad intelectual del (los) autor(es) y la revista no necesariamente acepta como suyas las opiniones expresadas en estos. Se permite la reproducción parcial o total de los trabajos, siempre y cuando se mencione la fuente.



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Revista Internacional de Fútbol y Ciencia®
Vol. 2, N° 1, 2004

ÍNDICE

VALIDACIÓN LACTICA DE UN TEST DE ESFUERZO INTERVÁLICO (TEST DE PROBST) PARA DETERMINAR EL UMBRAL ANAERÓBICO DEL FUTBOLISTA <i>Juan García López 1; José Antonio Rodríguez Marroyo 1; Juan Carlos Morante Rábago 1; González Montesinos J.L 1; Jesús Mora Vicente 2; José Gerardo Villa Vicente 1.</i>	3
EL PASE DE PARED <i>Luis Roberto Sibaja Quesada</i>	20
LOS EFECTOS EN EL FUNCIONAMIENTO COGNOSCITIVO DE LOS JUGADORES DE FUTBOL DE CABECEAR EL BALÓN Y LESIONES EN LA CABEZA <i>Kenneth S. Urakawa, Daniel M. Landers, Brandon L. Alderman, Tracie J. Rogers and Shawn M. Arent</i>	28
LOS EFECTOS DE LA DESHIDRATACION EN SALTOS DE ALTURA Y EN LA EJECUCIÓN DE PENALES EN JUGADORES DE FÚTBOL QUE ESTAN EN LA PRE-ADOLESCENCIA <i>Ricardo Mora</i>	38
APLICACIÓN DE PRINCIPIOS CIENTÍFICOS A LA PRÁCTICA AVANZADA DE REMATES EN EL FÚTBOL <i>Jin Wang</i>	49
UN ESTIMADO DE LA PROBABILIDAD DE QUE UN REMATE RESULTE EN UN GOL: LOS EFECTOS DE DISTANCIA, ANGULO Y ESPACIO. <i>Richard Pollard, Jake Ensum and Samuel Taylor</i>	59
Información para los autores	68

La Revista Internacional de Fútbol y Ciencia® (ISSN 1409 – 4444) es una publicación oficial de la Escuela de Educación Física y Deportes de la Universidad de Costa Rica, localizada en San José, Costa Rica. Todos los manuscritos que se envían a la revista son revisados por un comité editorial. Las solicitudes para la reproducción de los artículos publicados deberán dirigirse a Walter Salazar, Ph.D., Escuela de Educación Física y Deportes, Universidad de Costa Rica, Sabanilla, Montes de Oca, San José, Costa Rica. El costo de la suscripción en Costa Rica es de US\$50 anuales. Los costos incluyen el transporte terrestre o aéreo.

VALIDACIÓN LÁCTICA DE UN TEST DE ESFUERZO INTERVÁLICO (TEST DE PROBST) PARA DETERMINAR EL UMBRAL ANAERÓBICO DEL FUTBOLISTA

Juan García López 1; José Antonio Rodríguez Marroyo 1; Juan Carlos Morante Rábago 1; González Montesinos J.L 1; Jesús Mora Vicente 2; José Gerardo Villa Vicente 1.

1 Universidad de León. 2 Universidad de Cádiz.

E-mail: dmpjyv@unileon.es

ESPAÑA

RESUMEN

García López, J.; Rodríguez Marroyo, J.A.; Morante Rábago, J.C.; González Montesinos, J.L.; Mora Vicente, J. y Villa Vicente, J.G. (2004). Validación láctica de un test de esfuerzo interválico (test de Probst) para determinar el umbral anaeróbico del futbolista. *Revista Internacional de Fútbol y Ciencia*, 2(1), 3-20. El objetivo fue comprobar la validez de un protocolo de esfuerzo incremental, progresivo, máximo y discontinuo (Test de Probst) para valorar el umbral anaeróbico (UAn), interválico y específico en futbolistas profesionales mediante un recorrido que simula el esfuerzo desarrollado en este deporte. Para ello se determinó el UAn de 23 jugadores de la Liga de Fútbol Profesional (1ª División Española) que realizaron el Test de Probst, y 48h después un Test Lactacídico en el propio campo de fútbol y sobre el mismo recorrido. Los resultados muestran elevadas y significativas correlaciones ($r=0.79$ y $p<0.001$) entre las frecuencias cardiacas y velocidades en el UAn obtenidas en ambos tests. En el Test de Probst el UAn se identificó tanto de forma manual como matemática, siendo la primera la que mayor relación presentó con el Test Lactacídico, sobre todo cuando se analiza la velocidad en el UAn. En conclusión, el Test de Probst es un test de campo válido para determinar el UAn interválico (UAnI) de jugadores de fútbol, como indicador del grado de resistencia específica propia del futbolista, y que permite establecer grupos de trabajo y determinar el porcentaje de mejora de la misma en periodos sensibles como la pretemporada o valorar su nivel de condición física a lo largo de la temporada.

Palabras Clave: Fútbol, Umbral Anaeróbico, Probst, Ácido láctico, Frecuencia cardiaca

INTRODUCCIÓN

El metabolismo aeróbico es de gran importancia no sólo en el rendimiento deportivo de disciplinas individuales de media o larga duración (más de 10 minutos) sino también en deportes con un esfuerzo prolongado de más de 2 min.: carrera, natación, ciclismo, remo, esquí... (Bergh y cols., 2000; MacDougall y cols., 1991; López y Legido, 1991). Es frecuente encontrar referencias que destacan la importancia de la resistencia aeróbica en los deportes colectivos en general, y en fútbol y baloncesto en particular (Colli y Faina, 1987; Bangsbo, 1998), ya que las competiciones duran entre 40 y 90

minutos respectivamente, y además en ellas se combinan tanto las acciones físicas propias del metabolismo aeróbico como del anaeróbico (baja y alta intensidad, respectivamente) (Franco, 1998; Sanuy y cols., 1995).

Aunque las acciones decisivas del juego (velocidad de las acciones, número de acciones, ...) son más bien anaeróbicas, la resistencia aeróbica puede tener mayor grado de importancia durante la recuperación que durante el propio esfuerzo (Bangsbo, 1998), sobre todo atendiendo a la aleatoriedad en cuanto a duración, tiempo de actividad/pausa, distancia y trayectoria de los esfuerzos físicos intensos de la competición.

Como indicador de resistencia aeróbica se ha utilizado el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) y el umbral anaeróbico (UAN) (Wasserman y cols., 1967), mostrándose este último mucho más sensible a los efectos del entrenamiento (Navarro, 1998) y prediciendo en mayor medida el rendimiento en pruebas de larga duración (López y cols., 1995).

Existen tres metodologías básicas para determinar el UAN: lactacidémica, ergoespirométrica y por frecuencia cardíaca (Rodríguez y Aragonés, 1992), y se ha diseñado una amplia gama de tests a partir de estas metodologías (directos e indirectos, de laboratorio y de campo). Sin embargo estos tests sólo han sido validados en deportes individuales y de esfuerzos cíclicos y continuos, aplicándose posteriormente para valorar el UAN en los deportes colectivos (George y cols., 1996) por lo que no parecen específicos para las modalidades deportivas acíclicas, discontinuas o con intervalos de esfuerzo.

El Test de Probst utiliza un protocolo incremental, progresivo y máximo, con pausas de recuperación de 30 seg entre los intervalos de esfuerzo, para determinar el UAN a partir de la inflexión de la relación entre la velocidad de carrera y la frecuencia cardíaca máxima para cada intervalo de esfuerzo (Probst, 1989a; Probst y cols., 1989b). Fue creado como adaptación del test de Conconi (carrera continua y cíclica con incrementos de 0,5 Km/h cada 200m) para valorar la resistencia aeróbica de los futbolistas (intervalos de carrera con incrementos de 0,6 Km/h cada 280 m, con pausas de 30 seg entre intervalos), siendo el objeto de este trabajo el comprobar la validez de este protocolo de esfuerzo incremental, progresivo, máximo y discontinuo (Test de Probst) para valorar el UAN en futbolistas profesionales experimentados de la máxima categoría, comparando sus resultados tanto con un clásico test lactacidémico.

METODOLOGÍA

Sujetos

23 jugadores de Fútbol de la 1ª División Española pertenecientes al Real Valladolid S.A.D. (26.9±2.9 años, 77.2 ± 5.7 Kg y 179.9 ± 5.5 cm) participaron en este estudio de forma voluntaria y consentida, al igual que el cuerpo técnico.

Instrumentos

- Balanza y Tallímetro Detecto® (modelo D52, U.S.A.)
- Software TVREF-v1.0 ® Test de Probst (DSD, León, España) (figura-1b).
- Ordenador portátil Toshiba Satellite Pro 405CS ® con altavoces Sony ENG 203 ®.
- Cintas métricas de 10 y 25m de fibra de vidrio (Kangros®).
- 14 Balizas Tecnival, S.A. Cada baliza distaba 10 m de la siguiente en el sentido del circuito de la Figura –1.
- Pulsómetros Polar Advantage-NV® (Polar Electro OY, Kempele, Finland).
- 4 lancetas automáticas autoclix® (Boehringer Mannheim S.A., Alemania).
- Tubos capilares de 50 µl Analox® (GMRD-092, Analox Instruments LTD, England).
- Material de esterilización: guantes de látex, algodón, alcohol, etc.
- Analizador de lactato electroenzimático Analox® (P-LM4®, Analox Instruments LTD).

Procedimiento

A los 10 días de iniciarse la pretemporada se procedió a realizar un test de esfuerzo atendiendo a la metodología interválica de Probst (Probst, 1989a), para lo que se utilizó el software TVREF-v1.0. El test consiste en recorrer el trazado de la figura-1 a una velocidad inicial de 10.8 Km/h, deteniéndose durante 30 seg cada 280 m (2 vueltas al circuito), de forma que cada intervalo de esfuerzo comienza y finaliza en la misma baliza. La velocidad se incrementa en 0.6 Km/h cada periodo. De este primer test se obtuvo información sobre las frecuencias cardíacas máximas (FCMáx) y mínimas (FCMin) de cada periodo; y se determinó el umbral anaeróbico interválico (UAnI) por inflexión en la evolución progresiva de la frecuencia cardíaca máxima de cada uno de los intervalos del test (Figuras 2a y 2b), tanto de forma manual u observacional (UAnI) como atendiendo al modelo matemático de Tokmakidis y Léger (UAnIM) (Tokmakidis y Léger, 1992).

Figura-1.-Recorrido del Test de Probst (adaptado de Probst, 1989)

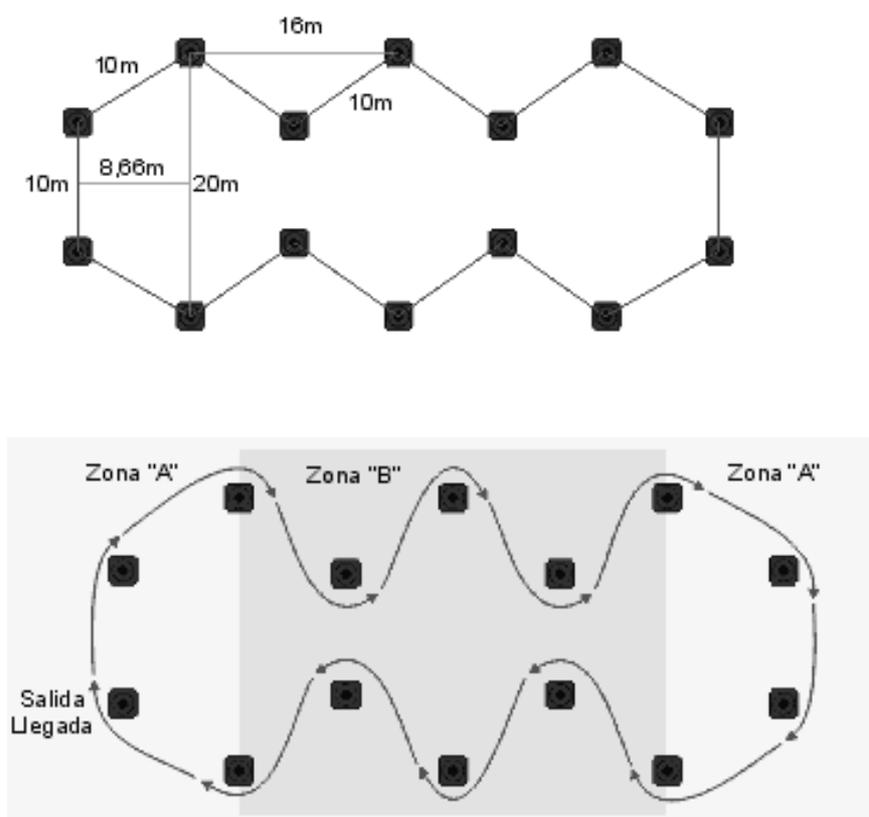


Figura-2a.-Determinación manual del UAn intervánico (UAnI): velocidad (V-UAnI) y frecuencia cardiaca (FC-UAnI)

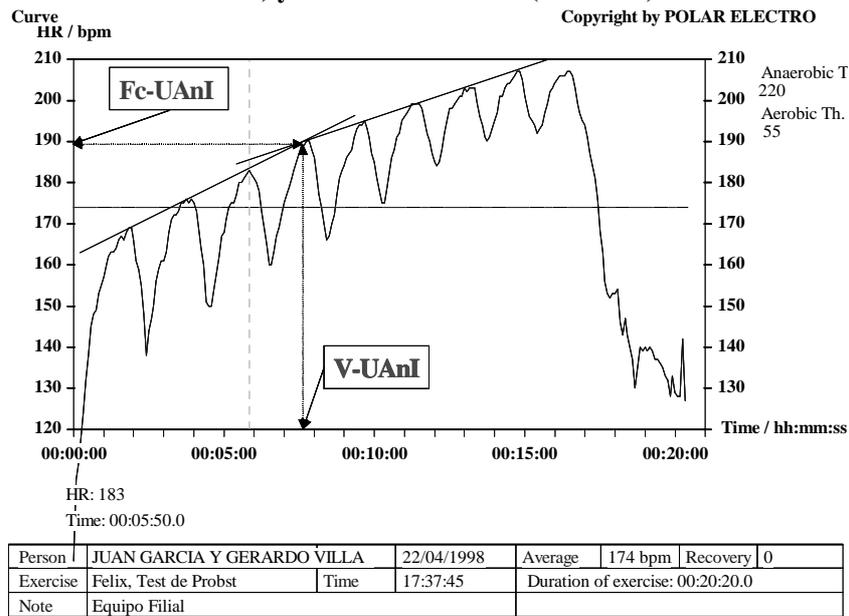
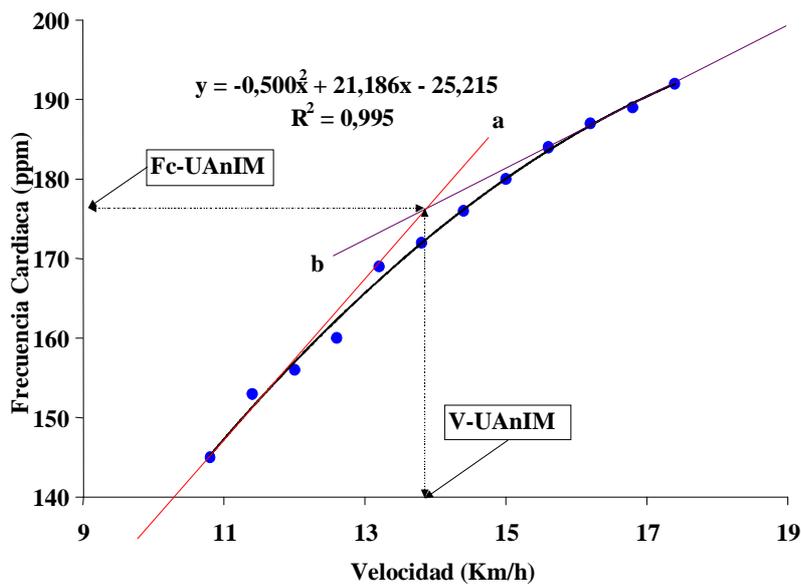


Figura-2b.-Determinación matemática (Tokmakidis y Léger, 1992) del UAn intervánico (UAnIM): velocidad (V-UAnIM) y frecuencia cardiaca (FC-UAnIM)



En el software TVREF-v1.0 se diseñó una utilidad para mantener la velocidad de un periodo o estadio durante el tiempo que el evaluador considere oportuno (Figura-3), por lo que transcurridas 48 horas se realizó un Test de Lactacidemia en el propio campo de fútbol, en el mismo circuito e igual recorrido que el test de Probst, pidiendo a los sujetos que completaran un mínimo de 5 estadios que diferían en 1.2 Km/h (10.8, 12, 13.2, 14.4 y 15.6 Km/h) (Figura-4). Cada estadio tenía una duración de 3 min., tras los cuales se realizaba una parada de 1 min. para extraer las muestras de sangre arterializada del lóbulo de la oreja, al mismo tiempo que se seguía registrando la frecuencia cardíaca (Figura-5). Tras obtener las lactacidemias para cada escalón (Lac), se determinó el umbral anaeróbico láctico (UAL) atendiendo a la metodología de Mader, referida como velocidad de desplazamiento a una lactacidemia de 4mmol/l (Mader y cols 1976; López y Legido, 1991).

Figura-3.-Pantalla de esfuerzo del protocolo “Repetir periodo” del Software TVREF-v1.0.

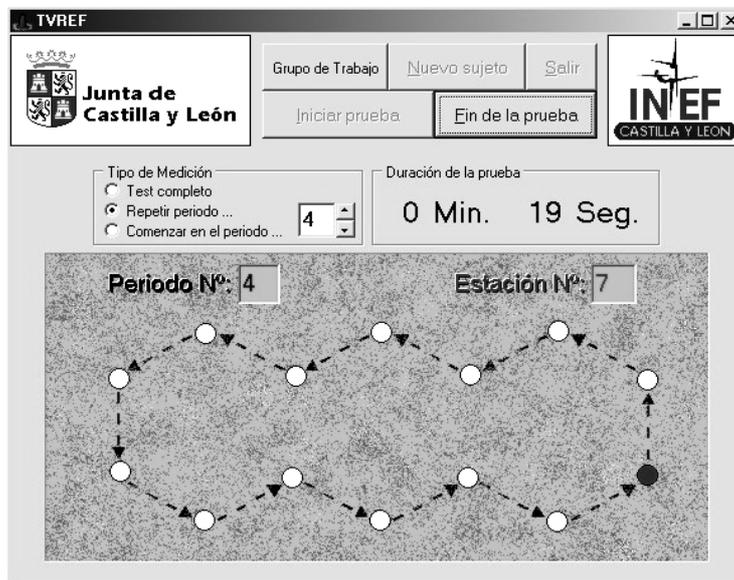
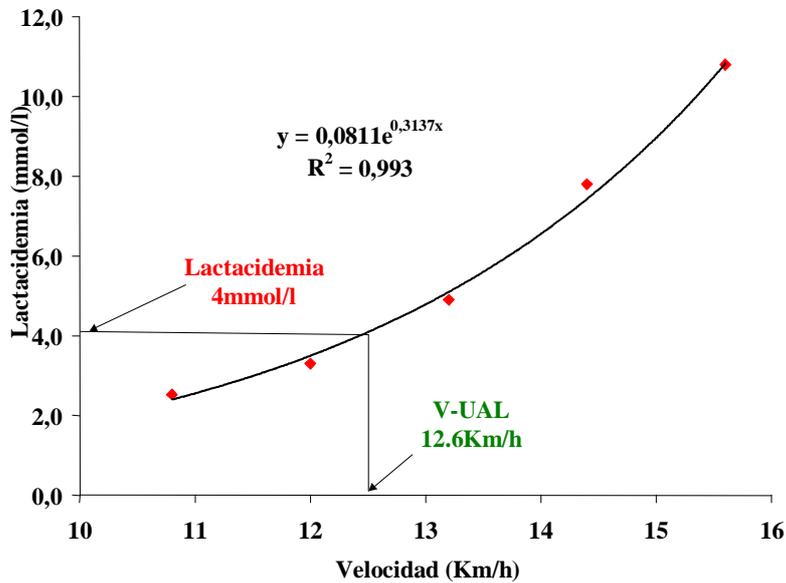


Figura-4.-Metodología de cálculo del UAn lactacidémico (UAL) a 4 mmol/l. Curva exponencial velocidad-lactacidemia y valor de ajuste de la misma (R2). Velocidad de carrera en el UAn lactacidémico (V-UAL)



Todos los futbolistas realizaron un calentamiento previo a los dos tests que se dividía en calentamiento general, estiramientos y calentamiento pre-partido, siendo éste dirigido por su preparador físico. Después del calentamiento pre-partido cada futbolista se colocaba en la baliza que le era asignada, donde se le ajustaba el pulsómetro, y en el segundo test se le preparaba para la obtención de muestras sanguíneas. Para familiarizarse con el ritmo de desplazamiento, recorrido, etc., daban dos vueltas de prueba al circuito ejecutadas al ritmo del primer periodo del test. Tras solucionar las posibles dudas surgidas, los futbolistas hicieron estiramientos suaves durante 5 min. antes del comienzo del test propiamente dicho.

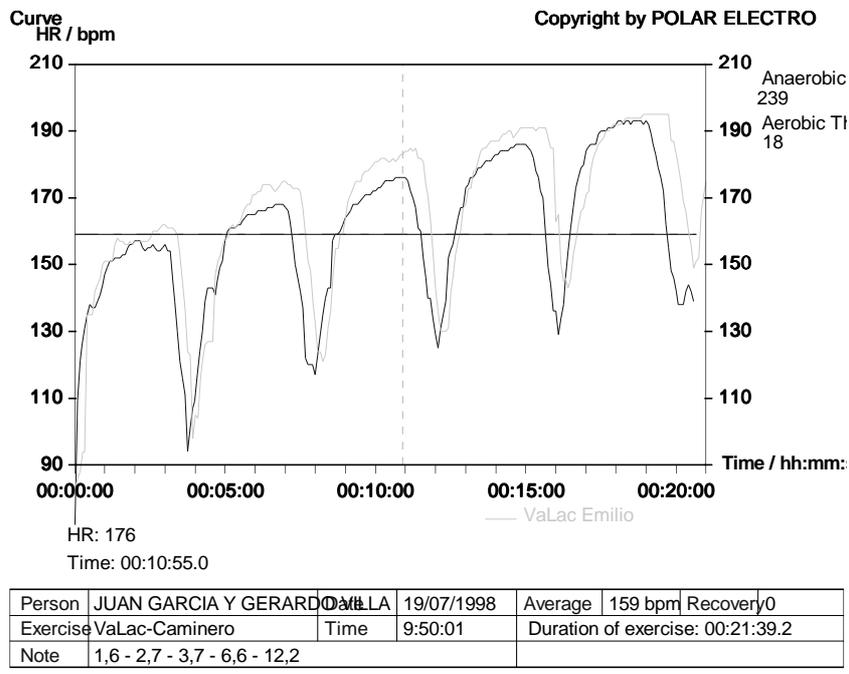
La obtención de muestras sanguíneas para análisis de la lactacidemia se realizó por el método de micromuestra en un analizador automático electroenzimático, tomando sangre capilar extraída del lóbulo de la oreja. Previamente se hiperhemizó, tras masaje en el lóbulo de la oreja y esterilización con alcohol, aplicando una pomada vasodilatadora (Finalgon®). Se puncionó mediante lanceta autoclix-P® con una microaguja estéril que penetraba a gran velocidad unos 0.5 cm en el lóbulo. Tras ella se obtienen aproximadamente 25 µl de sangre capilar en tubos capilares heparinizados, con fluoruros y nitritos en su interior para evitar la glucólisis celular. Estos

capilares eran movilizadas durante 3 min antes cerrar sus extremos con tapones y de almacenarse en frío para su posterior análisis. 7 µl de sangre eran necesarios para cada determinación en un analizador de lactato previamente calibrado. En un procesador gráfico se determinó el aumento exponencial de la lactacidemia en función de la intensidad de esfuerzo (velocidad de carrera), y se identificó a qué velocidad se correspondía con la lactacidemia de 4 mmol/l, considerándose a ésta como el umbral láctico del sujeto (López y Legido, 1991) (Figura-4).

Análisis estadístico

Los datos de frecuencia cardiaca del pulsómetro eran transferidos al ordenador mediante el interface Polar Advantage®; permitiendo comparar, instantes después, a los distintos futbolistas (Figura-5), ya que todos los jugadores conectaban el pulsómetro a la vez, diferenciándose los periodos de esfuerzo (aumento progresivo de la frecuencia cardiaca) de los periodos de recuperación (caída brusca de la frecuencia cardiaca).

Figura-5.-Valores de frecuencia cardiaca registrados en dos futbolistas durante la realización del Test Lactacídémico. Uno de los jugadores completa 5 estadios del test (10.8-12.0-13.2-14.4-15.6 Km/h), y el otro completa el escalón de 16.8 Km/h



El tratamiento gráfico se realizó en la hoja de cálculo Microsoft Excel v7.0 y el tratamiento estadístico en el paquete Statistica v4.5 para Windows.

Los resultados se muestran como media y error estándar de la media (E.E.M.). Para el estudio de las diferencias entre las variables del Test de Probst y del Test Lactacidémico se ha utilizado una prueba no paramétrica para datos apareados (Wilcoxon). Para el cálculo de las correlaciones entre las variables se utilizó la prueba no paramétrica de Spearman. Los niveles de significación “p” son: n.s. = no significativa ó $p > 0.05$; * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$; *** = $p < 0.001$.

RESULTADOS

En la tabla-1 se muestran los resultados obtenidos durante el Test de Probst, llegándose a una velocidad máxima de 17.0 ± 0.1 km/h por los 23 futbolistas (VMáx-UAnI) y alcanzando una frecuencia cardiaca máxima de 191 ± 2 ppm (FCMáx-UAnI), lo que representa un 99.4% de la frecuencia cardiaca máxima teórica ($220 - \text{edad}$), índice del grado de maximalidad del esfuerzo. También se describe la frecuencia cardiaca en el UAn interválico (FC-UAnI), que se identificó en 20 de los 23 futbolistas (es decir, en el 86.96% de los mismos) a una frecuencia cardiaca de 181 ± 2 ppm, lo que representa el $94.5 \pm 0.4\%$ de la frecuencia cardiaca máxima (%FCMáx-UAnI), y correspondiendo a una velocidad de 14.2 ± 0.2 km/h en el umbral anaeróbico interválico (V-UAnI), lo que supuso el $83.5 \pm 1.0\%$ de la velocidad máxima alcanzada en el test (%V-UAnI).

Tabla-1.-Frecuencias cardiacas y velocidades obtenidas en el Test de Probst. Valores medios y E.E.M. Valores mínimo y máximo (Rango)

VARIABLES	n	Media±E.E.M.	Rango
VMáx-UAnI (Km/h)	23	17.0 ± 0.1	16.3-18.0
FCMáx-UAnI (ppm)	23	191 ± 2	176-201
FC-UAnI (ppm)	20	181 ± 2	164-192
%FCMáx-UAnI (%)	20	94.5 ± 0.4	91.5-97.4
V-UAnI (Km/h)	20	14.2 ± 0.2	12.6-16.2
%V-UAnI (%)	20	83.5 ± 1.0	72.4-90.4

En la tabla-2 se muestran los resultados del Test Lactacidémico. Este test fue realizado por 20 de los 23 futbolistas (todos menos los porteros), y se analizan los datos de 18 de ellos, aquellos en los que se pudo determinar el umbral anaeróbico interválico (UAnI) por la metodología de Probst, para poder comparar los resultados. La velocidad máxima alcanzada (VMáx-UAL) fue de 16.0 ± 0.1 km/h y la frecuencia cardiaca máxima del test (FCMáx-UAL) de 190 ± 1 ppm, lo que representa un 98.3% de la frecuencia cardiaca máxima

teórica (220 – edad). La frecuencia cardiaca correspondiente a una intensidad de esfuerzo de 4 mmol/l de lactacidemia (FC-UAL), determinada en todos los futbolistas, se identificó a 174 ± 2 ppm, es decir a un $91.5 \pm 0.4\%$ de la frecuencia cardiaca máxima alcanzada en el test (%FCMáx-UAL), correspondiendo a una velocidad en el UAn (V-UAL) de 12.6 ± 0.1 km/h, lo que representa el $78.6 \pm 1.0\%$ de la velocidad máxima alcanzada en el test (%V-UAL). En la misma tabla se pueden observar los valores medios, mínimos y máximos de lactato basal y en las diferentes velocidades del Test Lactacidémico.

Tabla-2.-Frecuencias cardiacas, velocidades de desplazamiento y lactacidemias en el Test Lactacidémico. Valores medios, E.E.M. y rango de los resultados

VARIABLES	n	Media±E.E.M.	Rango
V _{Máx} -UAL (Km/h)	18	16.0±0.1	15.6-16.8
FC _{Máx} -UAL (ppm)	18	190±1	174-198
FC-UAL (ppm)	18	174±2	160-187
%FC _{Máx} -UAL (%)	18	91.5±0.4	84.2-95.4
V-UAL (Km/h)	18	12.6±0.1	11.5-13.4
%V-UAL (%)	18	78.6±1.0	72.6-85.9
Lactato-Basal (mmol/l)	18	1.1±0.1	0.8-1.3
Lactato-10.8 Km/h (mmol/l)	18	2.5±0.1	1.5-3.5
Lactato-12.0 Km/h (mmol/l)	18	3.3±0.2	2.0-4.4
Lactato-13.2 Km/h (mmol/l)	18	4.9±0.2	3.5-7.0
Lactato-14.4 Km/h (mmol/l)	18	7.8±0.3	5.8-10.9
Lactato-15.6 Km/h (mmol/l)	18	10.8±0.3	7.5-12.2
Lactato-16.8 Km/h (mmol/l)	6	11.7±0.3	10.4-12.2

En la tabla-3 se pueden observar las frecuencias cardiacas registradas durante el Test de Probst (FC-PROBST) y en el Test Lactacidémico para cada uno de los estadios, habiéndose analizado en este último tanto la frecuencia cardiaca máxima (FCMax-LAC) como la media (FCMed-LAC) en el último minuto de cada uno de ellos. Sólo a partir de la velocidad de 14.4 Km/h la frecuencia cardiaca máxima en el Test Lactacidémico es ligera pero significativamente mayor ($p < 0.05$) que la frecuencia cardiaca máxima registrada en el Test de Probst; igual que acontece a 15.6 Km/h tanto en la frecuencia cardiaca máxima ($p < 0.01$) como en la frecuencia cardiaca media ($p < 0.05$) del Test, pero no alcanzándose las intensidades de esfuerzos que se llegan en el test de Probst.

Tabla-3.-Frecuencias cardiacas registradas en el Test de Probst y en el Test Lactacidémico a diferentes velocidades de carrera. Valores medios y E.E.M. * = Diferencias estadísticamente significativas con la frecuencia cardiaca máxima para una misma velocidad (p<0.05)

VELOCIDAD (Km/h)	n	FC-PROBST (ppm)	FC _{Máx} -LAC (ppm)	FC _{Med} -LAC (ppm)
10.8	18	158±2	158±2	157±2
11.4	18	163±2		
12	18	167±2	167±2	167±2
12.6	18	171±2		
13.2	18	175±2	175±2	175±2
13.8	18	178±2		
14.4	18	181±2	183±1*	183±1
15	18	183±2		
15.6	18	186±2	189±2*	188±2*
16.2	17			
16.8	16	189±1	-	-
17.4	8			
18	5	192±2	-	-

Cuando se comparan las velocidades máximas en el Test de Probst (VMáx-UAnI) y en el Test Lactacidémico (VMáx-UAL) se observa que esta última es significativamente menor en 1.2 Km/h (p<0.001). También existen diferencias significativas (p<0.001) entre la velocidad en el UAn interválico atendiendo a la metodología de Probst (V-UAnI) y la velocidad en el UAN determinada por métodos lactacidémicos (V-UAL), siendo mayor en 1.6 Km/h en el Probst, lo que equivale a un 12.7%.

Las frecuencias cardiacas máximas alcanzadas en uno y otro test se encuentran muy próximas a la frecuencia cardiaca máxima teórica, y no presentan diferencias significativas entre sí. Sin embargo, la frecuencia cardiaca umbral calculada por el método interválico de Probst (FC-UAnI) es 7 ppm superior (p<0.001) a la frecuencia cardiaca umbral calculada por métodos lactacidémicos (FC-UAL).

En la tabla-4 se muestran las relaciones entre las frecuencia cardiacas máximas y umbral y las velocidades máximas y umbral obtenidas en el Test de Probst y en el Test Lactacidémico. En ella se aprecia cómo la dependencia de las frecuencias cardiacas en el UAn interválico determinado manual y matemáticamente (FC-UAnI y FC-UAnIM, respectivamente) es significativamente elevada (r=0.77 y p<0.001), al igual que ocurre con la

menor dependencia en cuanto a las velocidades a las que se identifica (V-UAnI y V-UAnIM, respectivamente), con valores de $r=0.45$ y $p<0.05$.

Tabla-4.-Relaciones entre las velocidades y frecuencias cardíacas máximas, velocidades y frecuencias cardíacas en el UAn registradas en el Test de Probst y en el Test Lactacidémico. Niveles de significación estadística de las correlaciones

(p): n.s = significativa;

* = $p<0.05$; ** = $p<0.01$; *** = $p<0.001$

VARIABLES	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-VMáx-UAnI									
2-FCMáx-UAnI	n.s.								
3-V-UAnI	0.45 ⁺	n.s.							
4-FC-UAnI	n.s.	0.84 ^{***}	n.s.						
5-V-UAnIM	0.56 ⁺	n.s.	0.45 ⁺	n.s.					
6-FC-UAnIM	n.s.	0.89 ^{***}	n.s.	0.77 ^{***}	n.s.				
7-VMáx-UAL	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			
8-FCMáx-UAL	n.s.	0.86 ^{***}	n.s.	0.77 ^{***}	n.s.	0.79 ^{***}	n.s.		
9-V-UAL	0.45 ⁺	n.s.	0.79 ^{***}	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
10-FC-UAL	n.s.	0.82 ^{***}	n.s.	0.80 ^{***}	n.s.	0.70 ^{**}	n.s.	0.80 ^{***}	n.s.

Los resultados obtenidos también muestran que la VMáx-UAnI se relaciona con la velocidad umbral determinada por las tres metodologías: velocidad en el UAn interválico determinado manualmente, velocidad en el UAn interválico determinado matemáticamente (V-UAnIM) y la velocidad en el UAn láctico, con valores de $r= 0.45$, 0.56 y 0.45 , respectivamente, y un nivel de significación estadística de $p<0.05$. De forma más intensa la FCMáx-UAnI se relaciona con las frecuencias cardíacas umbral determinadas con las citadas metodologías: FC-UAnI, FC-UAnIM y FC-UAL, con valores de $r= 0.84$, 0.89 y 0.82 , respectivamente, y un nivel de significación estadística de $p<0.001$; también se relaciona con la frecuencia cardíaca máxima en el Test Lactacidémico (FCMáx-UAL), con un valor de $r=0.86$ y $p<0.001$ (Tabla-4).

De la misma forma la V-UAnI se relaciona de manera intensa con V-UAL ($r=0.79$ y $p<0.001$). Si se expresa el UAn en términos de frecuencia cardiaca, la frecuencia cardiaca en el Test Lactacidémico (FC-UAL) se relaciona de forma más intensa con la frecuencia cardiaca del UAn interválico determinado manualmente FC-UAnI ($r=0.80$ y $p<0.001$) que con su determinación matemática ($r=0.70$ y $p<0.01$).

Existe una elevada correlación entre la frecuencia cardiaca máxima en el Test Lactacidémico (FCMáx-UAL) y las frecuencias cardiacas correspondientes a la velocidad umbral mediante la metodología de Probst (manual y matemática) y lactacidémica, con valores de $r= 0.77$, 0.79 y 0.80 , respectivamente, y con un nivel de significación estadística de $p<0.001$ (Tabla-4).

DISCUSIÓN

En las disciplinas de resistencia (deportes cíclicos) el $VO_{2máx}$ y, sobre todo, el UAn pudieran ser determinantes en el rendimiento deportivo (marca deportiva), siendo mayores a los observados en las disciplinas de equipo (deportes acíclicos). En cambio, en éstos son mayores a los encontrados en sedentarios o en disciplinas de duración corta (disciplinas de potencia) (Reilly, 1997; Bangsbo, 1998).

Relaciones entre la velocidad y la frecuencia cardiaca en el UAn interválico y el Test Lactacidémico

Se basan en la pérdida de la relación lineal que hay entre la velocidad de carrera, o la carga de trabajo, y la frecuencia cardiaca a altas intensidades de esfuerzo, siendo validadas por su alta correlación con la pérdida de linealidad en la relación lactato-velocidad de desplazamiento. (Conconi y cols, 1982). Esta relación es aún controvertida y polémica para algunos autores debido tanto a la escasa reproductibilidad como a la no aparición del punto de ruptura o, a veces, su pobre relación con el umbral láctico (Van Halden y cols, 1988; López-Calbet y cols., 1995).

En nuestro estudio las relaciones entre las frecuencias cardiacas umbral son muy superiores a otras descritas por otros autores, lo que contribuiría a validar el umbral anaeróbico interválico (UAnI). Gremion y Gobelet (1992) realizaron un estudio con 13 futbolistas profesionales, 10 esquiadores de fondo, 29 corredores de fondo y 7 ciclistas a los que realizaron dos pruebas de esfuerzo (Test de Conconi y Test Lactacidémico en tapiz rodante), comparando la frecuencia cardiaca umbral determinada según la metodología de Conconi (UAnC), el UAn a 4 mmol/l (UAn4) y el UAn individual atendiendo a la metodología de Stegman (UAnI); las relaciones fueron entre UAnC-UAnI de $r=0.69$, entre UAnC-UAn4 de $r=0.57$ y entre UAnI-UAn4 de $r=0.53$. Las más bajas las presentaron los futbolistas, posiblemente condicionadas porque no

están acostumbrados a una metodología continua y cíclica de carrera como, tal y como valora la metodología del Test de Conconi.

En otro deporte intermitente como es el tenis, Coen y cols. (1988) realizaron un Test Lactacidémico a 12 tenistas y 15 corredores, y a las 48 horas ambos grupos se sometieron a evaluación mediante el Test de Conconi, determinando igualmente la frecuencia cardíaca umbral (UAnC, UAn4 y UAnI) atendiendo a la metodología de Conconi, umbral láctico a 4 mmol/l y umbral individual. Las relaciones entre las tres metodologías oscilaron entre $r=0.72$ y $r=0.78$, en el mejor de los casos similares a las de nuestro estudio.

A diferencia de otros estudios realizados con futbolistas donde sólo se correlacionan las frecuencias cardíacas en el UAn (Gremion y Gobelet, 1992), en este trabajo se ha demostrado que la correlación es igualmente significativa para la variable velocidad, con valores de $r=0.79$ y $p<0.001$. En este sentido, algunos autores han criticado la metodología de Conconi porque no obtenían correlaciones entre las velocidades umbral en el Test Lactacidémico y en el Test de Conconi (Van Handel y cols., 1988; Lacour y cols., 1988; Tokmakidis y Léger, 1992).

Tiberi y cols. (1988), estudiando a 10 corredores de media distancia, tampoco encontraron relaciones entre la frecuencia cardíaca en el UAn determinada en el Test de Conconi y en uno Lactacidémico que en el mismo protocolo identificaba el umbral a 4 mmol/l, a 3.5 mmol/l e individual de cada sujeto según la metodología de Keul; las relaciones entre estas metodologías y la de Conconi fueron de 0.53, 0.59 y 0.27, respectivamente. En nuestro estudio se determina el UAn lactacidémico a 4 mmol/l, en futbolistas (no muy familiarizados con esfuerzos continuos de tres minutos) y sobre un recorrido en zig-zag (el propio circuito del test de Probst, que implica mayor exigencia), a pesar de lo cual las relaciones mostradas entre las variables en los umbrales han sido altas.

Cuando se contrasta los tres métodos de determinación del UAn (frecuencia cardíaca, ventilatorio y metabólico) en atletas de medio fondo, y se analiza las relaciones entre la velocidad, la frecuencia cardíaca y el VO₂ en el UAn, los autores muestran resultados contradictorios (Tiberi y cols. 1988; Maffuli y cols. 1994), de forma que el umbral a 4 mmol/l presentó las peores correlaciones con el umbral ventilatorio en todas las variables analizadas; sin embargo, respecto al test de campo, las relaciones con la velocidad fueron de $r=0.91$ y con la frecuencia cardíaca de $r=0.90$ ($p<0.001$). En este sentido, las críticas hacia la utilización de un umbral lactacidémico fijo (López y Legido, 1991; Thorland y cols., 1994) no concuerdan con los resultados de Maffulli y cols. (1994), quienes refieren que utilizar el umbral a 4 mmol/l para validar el UAn resulta útil porque precisa un menor empleo de tiempo, necesario para el trabajo de campo, en la valoración de un grupo de deportistas tan elevado ($n=20$ para el Test Lactacidémico).

Según Bruyn y cols. (1991), uno de los motivos por los que el UAn determinado según la inflexión de la frecuencia cardíaca resultaría poco fiable es porque existen dudas sobre la reproducibilidad de la inflexión, lo que demostró realizando dos tests incrementales a 4 triatletas, en diferentes tipos modalidades de ejercicio (natación, ciclismo y carrera) y en dos momentos distintos de la temporada. Las mismas conclusiones se obtienen del estudio de Jones y Doust (1995), que evaluaron en tapiz rodante a 15 corredores bien entrenados en un intervalo de tiempo de 8 días, concluyendo que sería más bien un artefacto cardiológico.

López-Calbet y cols. (1995) calcularon la reproducibilidad del Test de Conconi repitiendo un test sobre tapiz rodante 6 veces a lo largo de 3 meses en 23 estudiantes de educación física (15 hombres y 8 mujeres), concluyendo esta vez que la velocidad en el dicho umbral variaba en un 12-15%, mientras que la frecuencia cardíaca sólo variaba un 5%. Sin embargo, y como demuestran estos mismos autores, mientras que la velocidad y la frecuencia cardíaca en el umbral pueden oscilar entre un 0-20%, estas variables sólo oscilaron entre un 0-8% al final del ejercicio. En este sentido, el Test de Probst, independientemente de su validez o no en la determinación de un UAn interválico, aporta información valiosa sobre la velocidad máxima y la frecuencia máxima alcanzadas en estadios o intervalos por encima de los correspondientes al hipotético umbral anaeróbico, lo que podría corresponderse con un mejor potencial o capacidad anaeróbica, además de que las pausas de 30 seg pueden contribuir a alterar el posible “artefacto cardiológico” en la progresión de la frecuencia cardíaca.

Sobrestimación de la velocidad y la frecuencia cardíaca en el umbral

La velocidad y la frecuencia cardíaca en el UAn interválico han sido significativamente mayores en el test interválico de Probst respecto al Test Lactacidémico en su propio circuito. Igualmente, las frecuencias cardíacas (a 14.4 Km/h) en el Test Lactacidémico no llegan a estabilizarse, posiblemente consecuencia de haber superado la intensidad de esfuerzo correspondiente a su umbral, y que es determinada en el test interválico de Probst a 14.2 Km/h y 12.6 km/h en el test lactacidémico. Los resultados de Maffulli y cols. (1994) al comparar las velocidades en el UAn ventilatorio, lactacidémico y de Conconi no ofrecen tales diferencias; sin embargo, y a diferencia de estos y otros autores que utilizaban protocolos continuos y en línea recta para determinar el UAn, la metodología del Probst conlleva un recorrido en zig-zag, con constantes cambios de dirección; y es posible que con un recorrido de tales características (más exigente) no se alcance un estado metabólico estable, quizás porque los esfuerzos interválicos propios de los deportes acíclicos, aunque sean acciones intermitentes mantenidas en el tiempo, no tienen por que ser tan estables a nivel metabólico, más aún a intensidades altas.

En este sentido Reilly (1997) identificó un mayor gasto metabólico, acompañado de mayores tasas de lactacidemia, para desplazamientos que no

son en línea recta. Primeramente analiza el dribling con balón sobre un tapiz rodante a velocidades de 9, 10.5, 12 y 13.5 Km/h, obteniendo valores de 2.6, 3.2, 4 y 5.6 mmol/l, respectivamente, lo que significa que a los 12 Km/h ya se había alcanzado la tasa de 4 mmol/l, mientras que en línea recta a 13.5 Km/h (1.5 Km/h más) los valores de lactato eran de 3.9 mmol/l. En un segundo estudio cuantifica el gasto metabólico en diferentes tipos de carrera sin balón: desplazamiento lateral defensivo, hacia atrás ..., en general desplazamientos poco ortodoxos en los que observó que el gasto energético "extra" aumenta desproporcionadamente con la rapidez del movimiento (similar a lo que ocurre en los intervalos o estadios del Test de Probst), por lo que Reilly (1997) recomienda la utilización de este tipo de ejercicios para obtener una mejora en la economía del movimiento y en su especificidad.

La relación entre la velocidad en el UAn determinado por inflexión de la frecuencia cardiaca o por lactacidemia y la velocidad máxima en el Test de Probst ha sido similar ($r=0.45$ y $p<0.05$), por lo que el UAn interválico no aparece a un valor constante de la velocidad máxima, argumento manido de crítica al test de Conconi. De la misma forma, las relaciones entre la frecuencia cardiaca en el UAn interválico y/o lactacidémico con la frecuencia cardiaca máxima del Test de Probst no han sido muy diferentes ($r=0.84$ y 0.82 , respectivamente), por lo que tampoco la frecuencia cardiaca aparece a un valor constante, o al menos no se debe a las propias características del Test de Probst, ya que en estadios de mayor duración (Test Lactacidémico), el comportamiento de la frecuencia cardiaca también se ha relacionado con la frecuencia cardiaca máxima en dicho test.

Finalmente en nuestro estudio la determinación por un método manual u observacional del UAn es tanto o más fiable que el método matemático, ya que este último no obtiene relaciones con el umbral lactacidémico para los valores de velocidad, aunque sí para los valores de frecuencia cardiaca. Sin embargo, quizás la mejor solución sería compatibilizar la determinación matemática con el ajuste manual, que es lo que algunos autores han denominado como determinación interactiva (López-Calbet y cols., 1995), eliminando así en cierta medida el grado de subjetividad del evaluador.

En conclusión, pese a haberse encontrado diferencias en las velocidades y frecuencias cardiacas en el UAn para los métodos lactacidémico y de inflexión de la frecuencia cardiaca en el Test de Probst, posiblemente ligadas a los diferentes procederes metodológicos, las elevadas correlaciones entre estas variables indican que pudiera ser un test de campo válido para identificar el umbral anaeróbico, interválico y específico de esta especialidad deportiva.

BIBLIOGRAFÍA

- Bangsbo, J. (1998). "Quantification of anaerobic energy production during intense exercise". *Med. Sci. Sports Exerc.* 30 (1): 47-52.
- Bergh, U.; Ekblom, B.; Astrand, P.O. (2000). "Maximal oxygen uptake "classical" versus "contemporary" viewpoints". *Med. Sci. Sports Exerc.* 32 (1): 85-88.
- Bruyn, P.; Zintz, M.T.; Roart, M.T.; Tasiaux, M.V. (1991). "Détermination des seuils aérobic et anaérobic chez des triathletes dans leurs disciplines spécifiques". *Medecine du Sport* 3: 119-122.
- Coen, B.; Urhausen, A.; Kinderman, W. (1988). "Value of the Conconi test for determination of the anaerobic threshold". *Int. J. Sports Med.* 9(5): 372.
- Colli, R. y Faina, M. (1987). "Investigación sobre el rendimiento en basket". *R.E.D.* 1 (2): 3-10.
- Conconi, F.; Ferrari, M.; Ziglio, P.G.; Droghetti, P.; Codeca, L. (1982). "Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners". *J. Appl. Physiol.* 52 (4): 869-873.
- DSD (2000). "TVREF-v1.0: Test de Valoración de la Resistencia Específica en el Fútbol". Desarrollo de Software Deportivo, S.L. <<http://www.dsd.es>>
- Franco, L. (1998). "Fisiología del baloncesto". *Archivos de Medicina del Deporte* 15(68): 471-477.
- Gremion, G. y Gobelet, C. (1992). "Seuil anaérobic et entraînement". *Medicine du Sport* 66 (1): 7-13.
- Jones, A.M. y Doust, J.H. (1995). "Lack of reliability in Conconi's heart rate deflection point". *Int. J. Sports Med.* 16 (8): 541-544.
- Lacour, J.R.; Padilla, S.; Denis, C. (1988). "La inflexión de la curva frecuencia cardiaca-potencia no es un indicador del umbral anaeróbico". *Apuntes* 25: 71-74.
- López, J.L. y Legido, J.C. (1991). *Umbral anaerobio: bases fisiológicas y aplicación*. Ed. Interamericana McGraw-Hill, Madrid.
- López-Calbet, J.A.; García, B.; Fernández, A.; Chavarren, J. (1995). "Validez y fiabilidad del umbral de frecuencia cardiaca como índice de condición física aeróbica". *Archivos de Medicina del Deporte* 12 (50): 435-444.
- Macdougall, J.D.; Wenger, H.A.; Green, A.J. (1991). *Physiological testing of the high-performance athlete*. Ed. Human Kinetics, Champaign.
- Mader, A.; Liesen H.; Heck, H y cols. (1976). "Zur beurteilung der sportartsspezifischen ausdauerleistungsfähigkeit im labor". *Sportarzt sportmed* 27: 80-88.
- Maffulli, N.; Testa, V.; Capasso, G. (1994). "Anaerobic threshold determination in master endurance runners". *J. Sports Med. Phys. Fitness* 34 (3): 242-249.
- Navarro, F. (1998). *La resistencia*. Ed. Gymnos, Madrid.
- Probst, H. (1989). "Test par intervalles pour foorballeurs". *Revue Macolin* 5: 7-9.
- Probst, H.; Comminot, C.H.; Rojas, J. (1989). "Conconi-test auf dem Fahrradergometer". *Schwiez Z Sportmed* 37: 141-147.
- Reilly, T. (1997). "Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue". *J. Sport Sci.* 15: 257-263.

- Rodríguez, F.A. y Aragonés, M.T. (1992). "Valoración funcional de la capacidad de rendimiento físico". En González-Gallego, J. Fisiología de la actividad física y del deporte. Ed. Interamericana McGraw-Hill, Madrid: 237-278.
- Sanuy, X.; Peirau, X.; Biosca, P.; Perdix, R. (1995). "Fisiología del fútbol: revisión bibliográfica". *Apunts* 42: 55-60.
- Thorland, W.; Podolin, D.A.; Mazzeo, R.S. (1994). "Coincidence of lactate threshold and H-R power output threshold under varied nutritional states". *Int. J. Sports Med.* 15 (6):301-304.
- Tiberi, M.; Böhle, E.; Zimmermann, E.; Heck, H.; Hollmann, W. (1988). "Comparative examination between Conconi and lactate threshold on the treadmill by middle-distance runners". *Int. J. Sports Med.* 9 (5):372.
- Tokmakidis, S.P. y Léger, L.A. (1992). "Comparison of mathematically determined blood lactate and heart rate "threshold" points and relationship with performance". *Eur. J. Appl. Physiol.* 64 (4): 309-317.
- Van Handel, P.J.; Baldwin, C.; Puhl, J.; Katz, A.; Dantine, S.; Bradley, P.W. (1988). "Measurement and interpretation of physiological parameters associated with cycling performance". En *Medical scientific aspects of cycling*. Ed. Human Kinetics Books. Champaign, Illinois.
- Wasserman, K.; Van Kessel, A.L.; Buton, G.G. (1967). "Interaction of physiological mechanism during exercise". *J. Appl. Physiol.* 22:71-85.