

GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL DEPORTE

# TRABAJO FIN DE GRADO

---

OPCIÓN: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CURSO 2014/2015



Alumno: David Leandro Dejtiar  
Tutor: José Manuel Sarabia Marín

## ÍNDICE

<b>1. Contextualización</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1. Introducción</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2. Definición de Umbral Anaeróbico</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3. Objetivos de la revisión</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Procedimiento de revisión</b> .....	<b>4</b>
<b>3. Artículos</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Discusión</b> .....	<b>8</b>
<b>4.1. Análisis del lactato</b> .....	<b>8</b>
<b>4.2. Análisis del intercambio respiratorio</b> .....	<b>9</b>
<b>4.3. Análisis de la frecuencia cardíaca</b> .....	<b>10</b>
<b>5. Conclusión</b> .....	<b>11</b>
<b>6. Bibliografía</b> .....	<b>12</b>



## **1. CONTEXTUALIZACIÓN**

### **1.1. Introducción**

En la actualidad la aplicación de las ciencias al deporte es más que evidente. El conocimiento sobre la fisiología del cuerpo humano es de vital importancia en la mejora del rendimiento deportivo. Es por ello que se han definido las diferentes respuestas fisiológicas y metabólicas así como los factores limitantes del rendimiento humano bajo distintas condiciones. Una de las formas de diferenciar las diversas fases del metabolismo son los umbrales de esfuerzo, los cuales hacen referencia a cambios concretos y medibles en el metabolismo durante una prueba de ejercicio incremental, tales como cambios en la concentración de lactato en sangre, en el porcentaje de dióxido de carbono espirado o en la frecuencia cardíaca. Mediante los umbrales del metabolismo humano es posible valorar la condición física de los atletas, evaluar programas de entrenamiento o utilizarlos como métodos de prescripción y categorización de la intensidad de ejercicio.

### **1.2. Definición de Umbral Anaeróbico**

El umbral anaeróbico (UAN) es uno de estos umbrales. En este umbral la producción muscular de lactato excede la capacidad sistémica de eliminarlo, lo que conlleva que sobrepasándolo ocurra un aumento exponencial de la concentración de lactato en sangre (BL) durante una prueba de ejercicio incremental o un aumento progresivo del BL durante una carga constante (Binder et al., 2008). Dicho de otro modo, el UAN hace referencia a la máxima intensidad de ejercicio en la cual el organismo es capaz de mantener la homeostasis durante largos períodos de tiempo, separando la intensidad de ejercicio sostenible de insostenible. La importancia del UAN radica en que está estrechamente relacionado con el rendimiento en pruebas de resistencia así como su utilidad a la hora de entrenar y mejorar en dichas pruebas (Messonnier et al., 2013).

Este punto en la transición del metabolismo aeróbico hacia el anaeróbico, en el cual la producción del lactato excede la capacidad de eliminarlo por los tejidos, parece ser más sensible a los cambios producidos por el entrenamiento que el consumo máximo de oxígeno ( $VO_2max$ ) mostrándose mejoras en la intensidad de entrenamiento a nivel del UAN sin cambios significativos en el  $VO_2max$ , lo que se traduce en mejoras de rendimiento en pruebas de resistencia (Ghosh, A. K., 2004). Así, utilizando el UAN para prescribir cargas de ejercicio cabría esperar menos variación individual en cuanto a respuestas metabólicas. Es por ello que la valoración del umbral anaeróbico es un aspecto importante del entrenamiento en estos deportes, y así se han encontrado diferentes indicadores que reflejan este nivel de intensidad del ejercicio.

### **1.3. Objetivos de la revisión**

La medición del UAN actualmente se puede realizar midiendo diferentes parámetros metabólicos y fisiológicos, tales como la frecuencia cardíaca, el intercambio gaseoso en la respiración o la concentración de lactato en sangre. Con esta revisión bibliográfica se pretende conocer, diferenciar y clasificar los diversos métodos de valoración del umbral anaeróbico que se describen como válidos en la literatura reciente atendiendo a los distintos factores fisiológicos analizados y la manera en que se analizan.

## 2. Procedimiento de revisión

Los criterios empleados para la selección de los artículos utilizados en esta revisión se basan en que dichos estudios traten sobre humanos, los sujetos sean sanos y activos, estén en inglés o español, su fecha de publicación esté entre el 2005 y la actualidad, y por último que sean de libre acceso. De esta forma se han utilizado las bases de datos PubMed y Google Scholar para la búsqueda de artículos relacionados con el tema.

Mediante la combinación de las palabras clave Anaerobic Threshold, Determination, Measurement, test, Lactate Threshold y Ventilatory Threshold, encontramos un total aproximado de 1600 artículos. Cribando los resultados según los criterios arriba establecidos, se hallaron 349 artículos. Eliminando los duplicados (20) nos encontramos con 329. Revisando los resúmenes de los restantes y eliminando los que no tienen vinculación directa con el tema o versan sobre individuos sedentarios o enfermos, hallamos un total de 10 artículos originales y los tres revisiones.

## 3. Artículos

Para el análisis sistemático de los estudios, los agrupamos en la siguiente tabla:

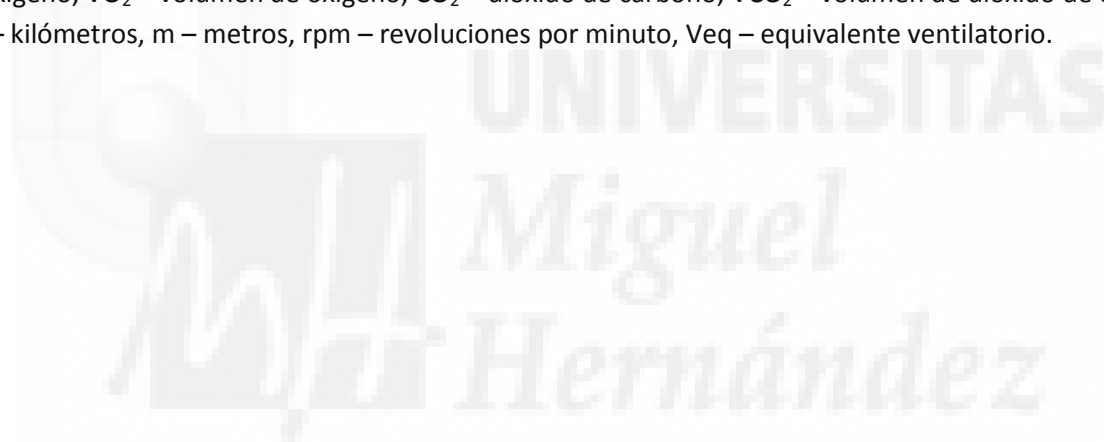


Referencia	Muestra	Protocolo	Método	Resultados
<b>(Erdogan, Karatosun, Baydar, 2010)</b>	<b>Cetin, &amp;</b> 22 remeros nivel nacional e internacional	Test progresivo incremental: 150W + 50W/3min Conconi test: 75W + 25W·min <sup>-1</sup>	La 4-UAN y Dm-UAN: 4mmol lactato y Dmax Con-UAN: HRDP Vs-UAN: V-slope method Veq-UAN: Equivalente ventilatorio RER-UAN: RER se estabiliza >1 y no vuelve a bajar de 1	UAN determinado por métodos de índices de gases respiratorios o punto de deflexión de frecuencia cardíaca dan resultados comparables con UAN determinado por BL. HRDP es el más acertado para remeros de élite.
<b>(Marães et al., 2005)</b>	18 hombres sanos y activos	Discontinuo dinámico en ciclo: 1- 25W + 10W·6 min <sup>-1</sup> progresivo 2-25W + 10W·6 min <sup>-1</sup> Incrementos aleatorios 3-Test incremental dinámico: 3 min a 4W + 10W·min <sup>-1</sup>	Analiza HR con ARIMA (señala el momento en el que la HR tiende a subir) AT= aumento de la ventilación y VCO <sub>2</sub> sin aumento correspondiente de VO <sub>2</sub>	Cambios en HR usando ARIMA a intensidades submáximas de ejercicio dinámico parece ser un acercamiento prometedor para determinar UAN.
<b>(Debray &amp; Dey, 2007)</b>	26 chicos activos y sanos	Cinta: 1 min a 4km/h y 2% elevación + 1km/h · min <sup>-1</sup>	VT: umbral ventilatorio mediante equivalente ventilatorio HRD: punto que HR cae de la linealidad	No se encontraron diferencias significativas en el VO <sub>2</sub> a intensidad de HRD y VT.
<b>(Cesar, Filho, Pompeu, Pedro, &amp; Souza, 2005)</b>	14 adultos sanos y activos	6 min descanso en el cicloergómetro 4 min calentamiento sin carga 60-96 rpm + 15-35 W · min <sup>-1</sup> dependiendo del W <sub>max</sub> del individuo	Inspección visual: V-slope Equivalente ventilatorio Ventilación por minuto y RER	Usando analizadores de gases más económicos presenta poca variación. Parámetros precisos con métodos accesibles fuera del laboratorio.
<b>(Sporis, Vucetic, &amp; Sentija, 2011)</b>	48 corredores elite (10 sprinter, 15 x 400m, 10 x media distancia y 13 larga distancia)	Test estándar en cinta inclinada: 1.5% inclinación 3km/h + 1 km/h cada 60 sec Test rápido en cinta inclinada: 1.5% inclinación	VO <sub>2VT</sub> : Consumo de oxígeno en umbral ventilatorio (VT) %VO <sub>2</sub> : Porcentaje consumo O <sub>2</sub> en VT HR <sub>VT</sub> : Frecuencia cardíaca en VT HRDP: Punto de deflexión de frecuencia cardíaca	Protocolos rápido y estándar dan resultados similares a HRDP y VT sobre VO <sub>2</sub> pero no comparando velocidades (velocidad depende del protocolo pero VO <sub>2</sub> no)

3km/h + 1km/h cada 30 sec				
<b>(Nogueira, Monteiro, &amp; Pompeu, 2010)</b>	79 sanos no atletas	Test continuo incremental en cicloergómetro: 6 min reposo + 4 min sin carga + 10% de la carga máxima por minuto a 1,23 Hz	Inspección visual: EqV: Equivalente ventilatorio de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> ExCO <sub>2</sub> : exceso de CO <sub>2</sub> ((VCO <sub>2</sub> <sup>2</sup> /VO <sub>2</sub> )-VCO <sub>2</sub> ) V-slope: Intensidad a la que corta línea paralela a 45° Matemáticos: MMSQR: Método matemático de Vieth de mínimos cuadrados. MMSlope: Intersercción de dos líneas de regresión UL: log-log: Punto de inflexión de datos en base logarítmica	MMSQR y los métodos visuales aportan resultados satisfactorios. MMSlope diferencia significativa con el instrumental de medición utilizado.
<b>(Higa et al., 2007)</b>	13 jóvenes y 16 postmenopáusicas Sanas y no atletas	Test continuo incremental en cicloergómetro: 1 min reposo + 4 min a 4W + 10-20W · min <sup>-1</sup> dependiendo de la potencia máxima	Análisis visual del gráfico V-slope. Modelo matemático de regresión lineal bisegmental usando el algoritmo de Hinkely's aplicado a HR y VCO <sub>2</sub> (MMH-HR y MMH-CO <sub>2</sub> )	Modelo matemático buena herramienta para determinar el UAN (alta correlación con V-slope) No invasivo, objetivo y semiautomático.
<b>(Solberg &amp; Borchsenius, 2005)</b>	12 hombres sanos y entrenados en resistencia	Cinta: 5% pendiente 8km/h + 2km/h cada 3 minutos Ciclo: 70 rpm 150W + 50W cada 3 minutos	Lactate-AT: Lactato capilar durante calentamiento + 1,5mmol. RER-AT: estabiliza en 1 sin volver a bajar EqO <sub>2</sub> -AT V-slope-AT	Determinación automática del RER-UAN da resultados comparables con el UAN detectado por lactato. RER Predefinido es simple y no-invasivo
<b>(Simões et al., 2014)</b>	14 hombres mayores sanos	Test incremental en ciclo: 1 min descanso + 4 min a 4W/60rpm + 15-30W · min <sup>-1</sup> discontinuo incremental ciclo: 5 min descanso + 10% max power · min <sup>-1</sup> con 5 min recuperación entre cambios. Test discontinuo incremental	AT por lactato: intensidad a la que el lactato capilar aumenta significativamente (punto inflexión de la curva) HRV por SDT1: menor diferencia entre dos estadios consecutivos HRV por rMSSPT: punto en el que el índice se estabiliza entre dos etapas	UAN= aprox. 30% VO <sub>2max</sub> HRV fiable para determinar UAN Comportamiento similar de HR entre ambos métodos HRV consistente con las respuestas de lactato capilar en la determinación del UAN durante protocolos dinámicos y contra-resistencia

en prensa inclinada:  
10% 1RM + 10% en 2 min  
esfuerzo a 12 repeticiones por  
minuto con 5 min descanso  
entre esfuerzos.

Tabla 1: Características y resultados de los estudios que analizan diferentes protocolos de test y distintos métodos para la determinación del umbral anaeróbico. W - vatios,  $W_{max}$  - potencia máxima, min – minutos, h – horas, sec – segundos, UAN - umbral anaeróbico, VT – umbral ventilatorio, BL – concentración de lactato en sangre, HR – frecuencia cardíaca, HRV – variabilidad de la frecuencia cardíaca, HRDP – punto de desviación de la frecuencia cardíaca, Hz – hertzios,  $O_2$  – oxígeno,  $VO_2$  – volumen de oxígeno,  $CO_2$  – dióxido de carbono,  $VCO_2$  – volumen de dióxido de carbono, RER – ratio de intercambio respiratorio, km – kilómetros, m – metros, rpm – revoluciones por minuto,  $Veq$  – equivalente ventilatorio.



#### 4. Discusión

La información obtenida de las revisiones y de los artículos originales se integró con la finalidad de obtener, a partir de ellos, una visión general de los distintos métodos de valoración del umbral anaeróbico.

La idea general que puede extraerse es que existen diversas formas válidas para la valoración del UAN. La variedad de métodos y términos es debido a que éstos son el resultado del análisis de procesos fisiológicos similares que reflejan un nivel común en el metabolismo por encima del cual hay una pérdida progresiva de la homeostasis. Lo que ha propiciado que exista cierta confusión en cuanto a la terminología del UAN, considerado con diferentes nombres el mismo umbral dependiendo sobre que parámetro fisiológico nos aproximemos a éste o que autor estemos estudiando (Binder et al., 2008). A pesar del más conocido método de valoración de la concentración de lactato en sangre, también se contemplan los referidos a la variabilidad de la frecuencia cardíaca y los que valoran el intercambio gaseoso. Los cuales podrían resultarnos más útiles dependiendo de las condiciones en las que tengamos que realizar la valoración.

A continuación se describen las características de los diferentes métodos hallados en esta revisión bibliográfica separados por el parámetro fisiológico que analizan.

##### 4.1. Análisis del Lactato

Dentro de las diversas formas de valorar el UAN, uno de ellos es mediante la medición de la concentración de lactato en sangre, para la que se utilizan muestras de sangre capilar obtenidas del lóbulo de la oreja en la mayoría de los casos. Asimismo se considera el análisis del BL como el “gold standard” en la determinación del UAN (Simões et al., 2014).

Los diferentes métodos utilizados para su cálculo son: 4 mmol/l lactato, momento en el que la concentración de lactato en sangre alcanza los 4 mmol/l. Aunque algunos autores critican este método por usar un valor fijo, ya que no tiene en cuenta la variación individual de la curva de lactato (Erdogan et al., 2010). A pesar de que el nivel de 4 mmol/l se correlaciona bien con el máximo estado estable del lactato o MLSS, (punto en el que la producción de lactato iguala la máxima capacidad de eliminarlo) el cuál si que tiene en cuenta la variación individual. Para hallar el MLSS se realizan varios tests de 30 minutos a una carga constante, y el MLSS se define como la máxima intensidad que se puede mantener sin un incremento mayor de  $0.05 \text{ mmol/l} \cdot \text{min}^{-1}$  en la concentración de BL durante los últimos 20 minutos de test (Binder et al., 2008; Hauser, Adam, & Schulz, 2014; Keir et al., 2015). Otros autores calculan el UAN con la máxima distancia entre la curva de lactato, cuyos datos han sido ajustados mediante una regresión curvilínea de tercer orden, y una recta trazada entre el primer y último dato de la curva, método denominado Dmax (Cheng et al., 1992; Erdogan et al., 2010). Solberg & Borchsenius (2005) utilizan la concentración de lactato capilar durante el calentamiento más 1,5 mmol para hallar el umbral de lactato y por último Simões et al. (2014) calculan el mismo umbral de forma visual a través de la intensidad de ejercicio a la que el lactato capilar aumenta significativamente, es decir, el punto inflexión de la curva (LT).

La principal desventaja de las mediciones de lactato es que se realizan de forma invasiva y requieren una pausa en la actividad para su recogida o que quien tome la muestra pueda estar al lado del deportista. En cambio este tipo de análisis son de fácil interpretación y se obtiene además el perfil anaeróbico del sujeto. Entre ellos, el más reconocido 4 mmol/l pierde validez frente al MLSS, el cual es el método de medición de la concentración de lactato en sangre que representa el “Gold Standard” para la determinación del UAN. Éste último es individualizado y puede no coincidir e incluso ser superior a los 4 mmol/l. Se desaconseja por el mismo motivo el uso del método utilizado por Solberg & Borchsenius (2005) ya que también



representa una manera arbitraria mediante un valor fijo predeterminado que puede no representar con exactitud el UAN. Sin embargo, el cálculo del umbral de forma visual a través del punto de inflexión de la curva de lactato (Simões et al., 2014) y el Dmax (Cheng et al., 1992; Erdogan et al., 2010) si que son útiles en la determinación del UAN. La diferencia principal radica en que los dos últimos tratan de hallar el momento de paso por el UAN en un test incremental, sin detenerse en él, y determinándolo de forma retrospectiva. En cambio, el MLSS si que se centra en ese estado del metabolismo, manteniendo la carga a la intensidad de UAN con el fin de determinarlo con exactitud. Por lo cual es el que mejor valoración produce y por lo que consideramos es el método adecuado en la valoración del UAN a través del lactato.

## 4.2. Análisis del intercambio respiratorio

Otra de las formas de valorar el UAN es analizando el intercambio gaseoso que ocurre en la respiración. Estos métodos analizan el volumen de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ), volumen de dióxido de carbono ( $\text{VCO}_2$ ) y la ventilación (VE) mediante un analizador de gases. El análisis de gases tiene como base el incremento de  $\text{H}^+$  en la sangre, el cual es tamponado con bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) resultando en un aumento en la producción de  $\text{CO}_2$  (Binder et al., 2008), para comprobar de forma indirecta el UAN, también llamado umbral ventilatorio (VT) y que se ha demostrado coincide con el LT (Erdogan et al., 2010). Examinando los cambios que se producen en dichas variables respiratorias podemos determinar la intensidad del ejercicio y la condición física del individuo.

Entre los diferentes métodos que utilizan el intercambio gaseoso como base, encontramos los siguientes: Método V-slope, el cual compara el aumento en  $\text{VCO}_2$  relativo al  $\text{VO}_2$ , y define el umbral ventilatorio como el punto de intersección entre las dos regiones de la curva o la intensidad a la que la curva corta la línea paralela a la bisectriz del ángulo recto (Cesar et al., 2005; Erdogan et al., 2010; Higa et al., 2007; Nogueira et al., 2010.; Solberg & Borchsenius, 2005). Otra forma de calcular el UAN es a través del equivalente ventilatorio, es decir, la intensidad de ejercicio que provoca un primer aumento en el equivalente ventilatorio de oxígeno ( $\text{VE}/\text{VO}_2$ ) sin el concurrente aumento en el equivalente ventilatorio de dióxido de carbono ( $\text{VE}/\text{VCO}_2$ ) (Cesar et al., 2005; Debray & Dey, 2007; Erdogan et al., 2010; Nogueira et al., 2010; Solberg & Borchsenius, 2005). Utilizando la relación entre  $\text{VCO}_2$  espirado y  $\text{VO}_2$  inspirado descubrimos el ratio de intercambio respiratorio o RER ( $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$ ), el cual comprobando la intensidad a la que sobrepasa cierto valor preestablecido ( $\text{VCO}_2/\text{VO}_2 > 1$ , por ejemplo) se halla el umbral anaeróbico (Cesar et al., 2005; Erdogan et al., 2010; Solberg & Borchsenius, 2005). Por último, Nogueira et al. (2010) detecta el UAN con el método del exceso de dióxido de carbono, momento en el que con el aumento de la intensidad del ejercicio se observa un exceso de producción de dióxido de carbono mediante la fórmula  $((\text{VCO}_2^2/\text{VO}_2) - \text{VCO}_2)$ . En última instancia, todos los métodos de valoración del UAN a través de la respiración versan sobre el incremento de ventilación y producción de dióxido de carbono sin el aumento igualitario de consumo de oxígeno, por lo que deberían representar el mismo estado del metabolismo. Siendo el RER con un valor preestablecido el más simple y automático (Solberg & Borchsenius, 2005).

El análisis del intercambio gaseoso de la respiración ha sido utilizado principalmente en laboratorio, debido al volumen y coste del instrumental utilizado. En la actualidad, debido al progreso de la tecnología, dicho instrumental es cada vez más económico y manejable, por lo que su uso está más extendido. Su principal ventaja es que no hay que detener la actividad para su medición y puede ser respiración a respiración, por lo que los datos son continuos, obteniéndose una gráfica completa del estado del deportista en todo momento.

Si comparamos dichos métodos, el equivalente ventilatorio (Veq) es el, en mi opinión, mejor método para determinar el UAN entre los que utilizan el intercambio respiratorio, ya que relaciona las tres variables (ventilación, volumen de oxígeno y volumen de dióxido de carbono). Sin embargo, al ser determinado de manera visual da pie a errores subjetivos. Por el contrario, el RER y el V-slope marcan un punto concreto. Ambos comparan  $VO_2$  y  $VCO_2$  de diferente forma para llegar al mismo sitio, por lo que en teoría sería indiferente el uso de uno u otro. En conclusión, los métodos de valoración a través del intercambio gaseoso mucha información del estado del deportista, y entre ellos, desde mi punto de vista, el Veq es el más útil. Puesto que todos tratan el exceso de producción de  $CO_2$  comparado con el consumo de  $O_2$  pero el Veq añade además la ventilación en el cálculo del UAN.

### 4.3. Análisis de la frecuencia cardíaca.

La siguiente variable utilizada en la medición del UAN es la frecuencia cardíaca (FC). Diversos estudios utilizan el punto de inflexión de la curva descrita por la FC (HRDP) para definir el umbral anaeróbico. Este método se basa en que durante el ejercicio incremental ocurre una deflexión en la linealidad de la curva que relaciona FC y trabajo, dicho de otro modo, la FC se vuelve no lineal a la intensidad igual al UAN. (Debray & Dey, 2007; Erdogan et al., 2010; Higa et al., 2007; Marães et al., 2005; Simões et al., 2014; Sporis et al., 2011).

Erdogan et al., (2010) determinan el HRDP mediante el proceso Dmax, en el que se calcula la curva de tercer orden de regresión curvilínea a partir de los valores de frecuencia cardíaca contra el tiempo, a continuación conectan los dos puntos finales por una línea recta y el punto más distante de la curva es considerado el HRDP (Kara et al., 1996).

Otro método es mediante la utilización del modelo estadístico autorregresivo integrado de media móvil (ARIMA) durante el rango de intensidad que se asume corresponde al UAN durante una prueba de ejercicio dinámica incremental (Marães et al., 2005). Método que analiza los cambios en la frecuencia cardíaca para mostrar el momento en el que ésta muestra una tendencia a aumentar, el cual parece ser una forma adecuada de determinación del UAN. El segundo modelo matemático para la determinación del UAN es el modelo matemático de regresión lineal bisegmental usando el algoritmo de Hinkley (MMH-HR), el cual permite identificar el momento en el que ocurre un cambio en el patrón de respuesta de la FC y detecta el punto de intersección de dos fases (Higa et al., 2007). Similar a éste, si se traza una recta en la zona lineal de la curva FC y tiempo por regresión lineal, el HRDP se define como el punto en que la respuesta en la FC comienza a caer de la linealidad (Debray & Dey, 2007)

Por último Simões et al. (2014) analiza la variabilidad de la frecuencia cardíaca con dos métodos matemáticos, el primero de los cuales (rMSSDT) utiliza la raíz cuadrada de la diferencia de la suma de cuadrados del tiempo entre cada  $R-R_i$ , dividido por el tiempo determinado menos uno. Determinando el UAN como el punto en el que el índice se estabiliza entre dos estadios. La segunda forma de valorarlo (SD1T) consiste en plasmar cada diferencia de  $R$  a  $R_i$  como una función del intervalo precedente. Y a través del índice obtenido en milisegundos, se define el UAN como la intensidad a la cual hay una menor diferencia entre dos estadios consecutivos.

Al igual que el intercambio gaseoso el análisis de la frecuencia cardíaca es no invasivo, sin embargo, la recopilación es relativamente simple, asimismo puede ser efectuada en laboratorio y en campo. Y también se puede realizar de forma continua, describiendo el estado del sujeto en todo momento. En el punto de flexión de la curva, el aumento de la ésta puede sugerir una disminución en la función del ventrículo izquierdo, como se observa en la mayoría de pacientes con enfermedades coronarias (Binder et al., 2008). Mientras que si la desviación es descendente corresponde con el fenómeno fisiológico observado en la mayoría de

pacientes sanos correspondiente con el UAN (Binder et al., 2008). Además, el grado de depleción de la curva es dependiente del protocolo utilizado (Sporis et al., 2011).

Entre los anteriores métodos para determinar el HRDP, el Dmax descrito por Erdogan et al. (2010) y el punto de desviación de la curva detectados por Higa et al. (2007) y Debray & Dey (2007) son los que recomendamos. Los tres detectan el HRDP mediante el estudio de la gráfica de forma matemática, basándose en el punto de desviación de la curva. Los dos últimos son más intuitivos, y aunque requieren el uso de métodos matemáticos son adecuados para la valoración del UAN. En cambio, el método de valoración de la curva a través del Dmax es el que nos parece más objetivo y el recomendado en la valoración del HRDP ya que tiene en cuenta todos los puntos de la recta sin dividirla en segmentos previamente. Para finalizar, los métodos rMSSDT, SD1T (Simões et al., 2014) y ARIMA (Marães et al., 2005) requieren un análisis matemático con una interpretación más complicada comparados con el Dmax y el punto de desviación mediante rectas de regresión. Por lo que, aunque también válidos en la determinación del HRDP, no se recomienda el uso de estos métodos.

## 5. Conclusión

La conclusión obtenida en esta revisión bibliográfica es que existen diversos métodos para la valoración del umbral anaeróbico válidos en la actualidad. Los métodos que valoran el lactato son los más utilizados, debido a su sencillez y que representan una medida directa del estado anaeróbico del sujeto. En cuanto al análisis del intercambio gaseoso producido en la respiración, aunque su medición es más costosa y aparatosa, por lo que se practica principalmente en laboratorio, también aporta datos consistentes y de gran utilidad. Por último, la recopilación de valores a través de la frecuencia cardíaca es relativamente simple y es, en mi opinión, la más aconsejada para la valoración de la condición física a intensidades submáximas, debido a su bajo coste y alta funcionalidad. En definitiva, el método MLSS es la forma ideal de valoración del UAN, aunque sea invasivo y requiera más tiempo que una prueba de esfuerzo incremental. Desde mi punto de vista, la mejor manera de valorar el umbral anaeróbico y la condición física es mediante una prueba de esfuerzo en laboratorio, en la que se analice conjuntamente el intercambio gaseoso, la frecuencia cardíaca y lactacidemia. Este tipo de pruebas son las que más información nos aportarán. Analizando a posteriori los datos de frecuencia cardíaca y lactato con el método Dmax (Cheng et al., 1992; Erdogan et al., 2010; Kara et al., 1996), además del V-slope y equivalente ventilatorio para valorar el estado del intercambio de gases en la respiración (César et al., 2005; Debray & Dey, 2007; Erdogan et al., 2010; Higa et al., 2007; Nogueira et al., 2010.; Solberg & Borchsenius, 2005).

## 6. Bibliografía

- Binder, R. K., Wonisch, M., Corra, U., Cohen-Solal, A., Vanhees, L., Saner, H., & Schmid, J.-P. (2008). Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation : Official Journal of the European Society of Cardiology, Working Groups on Epidemiology & Prevention and Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology*, 15(6), 726–734. <http://doi.org/10.1097/HJR.0b013e328304fed4>
- Cesar, P., Filho, N. G., Pompeu, F. a M. S., Pedro, A., & Souza, R. De. (2005). Accuracy of VO<sub>2</sub>max and anaerobic threshold determination \*. *Revista Brasileira De Medicina*, (21), 162–165.
- Cheng, B., Kuipers, H., Snyder, A. C., Keizer, H. A., Jeukendrup, A., & Hesselink, M. (1992). A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *International Journal of Sports Medicine*, 13(7), 518–522. <http://doi.org/10.1055/s-2007-1021309>
- Debray, P., & Dey, S. K. (2007). A comparison of the point of deflection from linearity of heart rate and the ventilatory threshold in the determination of the anaerobic threshold in Indian boys. *Journal of Physiological Anthropology*, 26(1), 31–37. <http://doi.org/10.2114/jpa2.26.31>
- Erdogan, a, Cetin, C., Karatosun, H., & Baydar, M. L. (2010). Non-invasive indices for the estimation of the anaerobic threshold of oarsmen. *The Journal of International Medical Research*, 38(3), 901–915.
- Hauser, T., Adam, J., & Schulz, H. (2014). Comparison of calculated and experimental power in maximal lactate-steady state during cycling. *Theoretical Biology & Medical Modelling*, 11(1), 25. <http://doi.org/10.1186/1742-4682-11-25>
- Higa, M. N., Silva, E., Neves, V. F. C., Catai, a. M., Gallo, L., & Silva de Sá, M. F. (2007). Comparison of anaerobic threshold determined by visual and mathematical methods in healthy women. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 40(4), 501–508. <http://doi.org/10.1590/S0100-879X2007000400008>
- Kara, M., Gökbek, H., Bediz, C., Ergene, N., Üçok, K., & Uysal, H. (1996). Determination of the heart rate deflection point by the Dmax method. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 36(1), 31–34.
- Keir, D. a., Fontana, F. Y., Robertson, T. C., Murias, J. M., Paterson, D. H., Kowalchuk, J. M., & Pogliaghi, S. (2015). *Exercise Intensity Thresholds. Medicine & Science in Sports & Exercise*. <http://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000613>
- Marães, V. R. F. S., Silva, E., Catai, a M., Novais, L. D., Moura, M. a S., Oliveira, L., & Gallo Jr, L. (2005). Identification of anaerobic threshold using heart rate response during dynamic exercise. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research = Revista Brasileira de Pesquisas Medicas E Biologicas / Sociedade Brasileira de Biofisica ... [et Al.]*, 38(5), 731–735.
- Messonnier, L. a, Emhoff, C.-A. W., Fattor, J. a, Horning, M. a, Carlson, T. J., & Brooks, G. a. (2013). Lactate kinetics at the lactate threshold in trained and untrained men. *Journal of*

*Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 114(11), 1593–602.  
<http://doi.org/10.1152/jappphysiol.00043.2013>

Nogueira, S., Monteiro, A., & Pompeu, S. (n.d.). Artículo Original Precisión de la Medición del Umbral Anaerobio por medio del, 354–363.

Simões, R. P., Castello-Simões, V., Mendes, R. G., Archiza, B., dos Santos, D. A., Bonjorno, J. C., ... Borghi-Silva, A. (2014). Identification of anaerobic threshold by analysis of heart rate variability during discontinuous dynamic and resistance exercise protocols in healthy older men. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 34(2), 98–108.  
<http://doi.org/10.1111/cpf.12070>

Solberg, G., & Borchsenius, F. (2005). Research article RESPIRATORY GAS EXCHANGE INDICES FOR ESTIMATING THE ANAEROBIC THRESHOLD. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4, 29–36.

Sporis, G., Vucetic, V., & Sentija, D. (2011). Comparison of Ventilation Threshold and Heart Rate Deflection Point in Fast and Standard Treadmill Test Protocol. *6Th International Scientific Conference on Kinesiology: Integrative Power of Kinesiology*, (Ld), 667–671.

