

**UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA CIENCIAS DEL DEPORTE**

**COMPARACION DE LA PRUEBA DE CONCONI ADAPTADA A UNA BANDA
RODANTE CON LA PRUEBA VENTILATORIA MEDIANTE ANALIZADOR
DE GASES PARA OBTENER EL UMBRAL ANAEROBICO EN FUTBOLISTAS
DE LA SELECCIÓN JUVENIL DE COSTA RICA EN EL AÑO DE 1996.**

**TESIS DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO
DE LICENCIADO EN LA EDUCACION FISICA
CON ENFASIS EN SALUD.**

**TESIS PRESENTADA POR:
ORLANDO RODRIGUEZ ANGULO.**

**PROFESOR TUTOR:
Msc. CARLOS ALVAREZ BOGANTES**

HEREDIA, COSTA RICA 2000.

TESIS DE GRADO



Sometida el día 19 de Julio del 2000, a consideración de la Escuela de Ciencias del Deporte de la Universidad Nacional, como requisito para optar al grado de:

Licenciado en Educación Física con Enfoque en el Área de la Salud

Presentada por:

Orlando Rodríguez Angulo

Tribunal examinador

_____	_____
Lic. Harri Fernández Sagot	Msc. Carlos Alvarez Bogantes
Escuela Ciencias del Deporte	Escuela Ciencias del Deporte
Universidad Nacional - Director	Universidad Nacional – Tutor
_____	_____
Msc. Josefa Sancho Barrantes.	Dr. Pedro Ureña Bonilla
Escuela Ciencias del Deporte	Escuela Ciencias del Deporte
Universidad Nacional – Lectora	Universidad Nacional – Lector



INDICE

	Pág
Resumen -----	i
Dedicatoria -----	iii
CAPITULO	
I - INTRODUCCION -----	1
Objetivos -----	8
II - MARCO CONCEPTUAL -----	9
Definición del umbral anaeróbico -----	9
Importancia del umbral anaeróbico en el deporte -----	12
Fundamentos fisiológicos relacionados con el umbral anaeróbico -----	19
Bases teóricas para su determinación -----	23
Umbral anaeróbico de lactato -----	25
Factores que influyen en el umbral de lactato -----	32
Umbral ventilatorio -----	34
Factores que influyen en el umbral ventilatorio -----	39
Relación entre el umbral anaeróbico de lactato y ventilatorio ----	41
Pruebas para determinar el umbral anaeróbico -----	46
Pruebas indirectas -----	48
Pruebas indirectas de campo -----	48
Pruebas indirectas de laboratorio -----	49
Pruebas directas -----	56

Pruebas directas de campo -----	58
Pruebas directas de laboratorio -----	59
Prueba de Conconi -----	61
Prueba ventilatoria -----	65
III – METODOLOGIA -----	71
Sujetos -----	71
Instrumentos -----	71
Procedimientos -----	73
Tratamiento estadístico -----	74
IV – RESULTADOS Y DISCUSION -----	76
Resultados -----	76
Discusión -----	81
V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	88
Conclusiones -----	88
Recomendaciones -----	89
Bibliografía -----	91
Anexo 1 Protocolo de la prueba de Conconi -----	94
Anexo 2 Protocolo de la prueba Ventilatoria (V- Slope) -----	97
Anexo 3 Base de datos de todas las variables -----	99
Anexo 4 Hoja de recolección de datos -----	102
Anexo 5 Colocación de electrodos (Standard Cabrera) -----	104

INDICE DE CUADROS

CUADRO

PÁG

1. Promedio y desviación estándar de las variables, edad, peso (kg), estatura (cm), frecuencia cardíaca, consumo de oxígeno (ml/kg/min), umbral anaeróbico método Conconi, umbral anaeróbico método ventilatorio, porcentaje de grasa corporal (%) y masa muscular (%) en futbolistas varones menores de 20 años pertenecientes a la Selección Nacional de Costa Rica (sub-20) (N=20) -----

77

2. Promedio, desviación estándar y correlación de las variables, umbral anaeróbico obtenido por el método ventilatorio (UA V) y umbral anaeróbico obtenido por el método Conconi (UA C), en futbolistas varones menores de 20 años pertenecientes a la Selección Nacional de Costa Rica (sub-20) (N=20) -----

78

3 Promedio, desviación estándar y varianza de las variables umbral anaeróbico obtenido por el método ventilatorio (UA V) y umbral anaeróbico obtenido por el método Conconi (UA C), en futbolistas

- 4 Varianza, análisis de regresión, grado certeza e intervalo de confianza de las variables umbral anaeróbico obtenido por método ventilatorio (UA V) (Fc) y umbral anaeróbico obtenido por método Conconi (UA C) (Fc), en futbolistas varones menores de 20 años, pertenecientes a la Selección Nacional de Costa Rica (Sub - 20) (N = 20). -----

RESUMEN:

El propósito fundamental de esta investigación fue comparar los resultados obtenidos por medio de la aplicación de dos pruebas indirectas para detectar el umbral anaeróbico en un grupo de futbolistas pertenecientes a la Selección Nacional de Costa Rica (Sub - 20) del año 1996. La valoración con dichas pruebas denominadas Conconi y Análisis de la Pendiente Ventilatoria (V-slope) fue realizada en forma simultánea en el laboratorio de fisiología del ejercicio de la Clínica Krebs.

Para el estudio se contó con un grupo de 20 jugadores hombres y los resultados fueron tratados estadísticamente con base en procedimientos descriptivos (promedios y desviación estándar), inferenciales (análisis de varianza, correlación de Pearson y análisis de regresión).

Lo más importante de los resultados es que se obtuvo una correlación alta y positiva entre ambas pruebas (.80) ($P < .05$), y la no existencia de diferencias estadísticas significativas entre las frecuencias cardiacas registradas independientemente en ambas pruebas lo cual es fundamentado según el análisis de varianza ($F = 1.727$) ($P < .05$). Sin embargo al utilizar el análisis de regresión ($T = 5.83$; $F = 34.085$; $P = 0.00001 < 0.05$), nos indica que puede haber intervalo de confianza de más o menos 12 pulsaciones al predecir el (UAC) con base en los resultados de la prueba ventilatoria y un intervalo de confianza de más o menos 10 pulsaciones al predecir (UAV) a partir del (UAC), con 95% de certeza en ambos casos.

Los resultados anteriores concuerdan con la mayoría de la literatura, en la existencia de un umbral anaeróbico, que se subdivide según su método de obtención en

ventilatorio o de lactato, los cuales fundamentan su existencia mediante dos modelos fisiológicos diferentes y cuya diferencia principal se observa en el tiempo de detección. En esta investigación el umbral ventilatorio se detectó primero que el de lactato, en lo cual la literatura aún no está clara.

Finalmente se evidenció en la comparación de los resultados de ambas pruebas que aunque no hay diferencias estadísticas significativas, la utilización de los mismos en la práctica deportiva debe ser por separado, debido al margen de diferencia que puede darse en las pulsaciones al predecir el resultado de una prueba con la otra, sin embargo el análisis indica que si hay una relación entre ambas pruebas concordando con el modelo fisiológico de Wasserman (1991).

Se agrega además que para basar un sistema de entrenamiento aeróbico en los datos arrojados por las pruebas utilizadas para determinar el umbral anaeróbico debe tomarse en cuenta principalmente la posibilidad de utilizar en el campo los resultados y el acceso a la revaloración .

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a todas aquellos, parientes y amigos que de una u otra forma me han ayudado con sus enseñanzas, consejos y buena voluntad, pero muy especialmente a mi familia quien ha estado a mi lado en los aciertos y desaciertos de mi carrera profesional alimentando en mi el deseo de superación que manifiesto al elaborar este trabajo.

CAPITULO I

INTRODUCCION

A nivel mundial en el deporte del fútbol la aplicación del análisis fisiológico ha tenido como fines últimos, el diagnosticar la condición física mediante la medición de diferentes variables, y probar formas de influir sobre ellas para su mejoramiento (Bosco,1994).

Es por ello que la investigación se ha basado en el enfoque sustentado por la teoría, de que una condición física óptima conduce a un mejor rendimiento que se refleja en los deportes de conjunto como el fútbol en una superioridad física sobre otro equipo, aumentando las probabilidades de triunfo (Brooks, 1984).

No obstante en el fútbol nacional solamente algunos equipos élite han puesto en boga la utilización de las herramientas que brinda el análisis funcional del atleta con la finalidad principal de conocer su capacidad, no obstante hay que tener prudencia ya que muchas veces la información que se obtiene del área fisiológica ha sido innecesaria, poco práctica o subutilizada, tal es el caso de la polémica sobre la manera de medir la capacidad aeróbica en el futbolista, cualidad que requiere de mucho tiempo y constancia para su mejoramiento por lo que en el fútbol no es factible enfatizar en su entreno por aspectos de las exigencias del deporte además de dinero, tiempo y calendarización deportiva (Quintana, 1981; Bosco, 1994).

Con relación a lo anterior en el campo del fútbol costarricense la evaluación funcional ha sido muy limitada siendo el consumo de oxígeno (VO_2 máx) y el porcentaje de grasa las principales variables que han sido tratadas, mientras que la potencia de piernas, la fuerza explosiva en carrera corta y el umbral anaeróbico de lactato sanguíneo (UALs) no se les ha dado la

importancia debida, aunque todas las pruebas anteriormente nombradas son utilizadas para obtener información sobre dos niveles del rendimiento físico: la condición aeróbica y la anaeróbica (Bosco, 1994; Fox, 1992).

Por lo tanto el preparador físico y el entrenador en nuestro medio se enfrentan principalmente a la problemática sobre la utilización de los datos que arroja la valoración de la capacidad aeróbica del futbolista, ya que lo más utilizado en el país ha sido el parámetro (VO_2 máx), el cual muestra una serie de deficiencias para estos deportistas como son: la utilización en sí de dicho dato una vez obtenido para ser mejorado por medio del entrenamiento, el cuestionamiento sobre si realmente el (VO_2 máx) es el parámetro que mejor refleja la condición aeróbica en un futbolista entrenado, hasta donde dicha variable hace la diferencia en el rendimiento de un futbolista en comparación con otro, y su relación con la frecuencia cardiaca para poder obtener un dato base el cual pueda utilizarse para dosificar la intensidad del entrenamiento y el volumen de trabajo (Boulay, 1997).

Por lo anterior es que a través de diversos análisis se han explorado diferentes variables que reflejen mejor la condición aeróbica en esta modalidad deportiva, tal es el caso del umbral anaeróbico (UA), parámetro cuyas aplicaciones no han sido investigadas exhaustivamente en el deporte del fútbol, ya que ha sido estudiado principalmente en pruebas de larga duración como son atletismo, ciclismo y natación, no considerándose en el fútbol, debido a que la capacidad aeróbica en dicho deporte no es vista como la principal variable que influye en el desempeño futbolístico (Bassett, 1991).

Sin embargo, el (UA) que se define como la zona de transición entre un ejercicio aeróbico y el inicio de la participación del metabolismo anaeróbico, en el fútbol se muestra como una variable fisiológica, con una serie de ventajas comparativas sobre el (VO_2 máx), como lo son: ser

un reflejo más real de la condición aeróbica del deportista y principalmente que en la medición del (UA) se tiene acceso a un dato específico indicativo del momento en el cual es manifestado por el deportista, como lo es la frecuencia cardiaca (Fc), con la cual se puede dosificar en forma fácil, eficiente y con gran exactitud, la intensidad durante las sesiones de entrenamiento (Wasserman, 1991; Boulay, 1997).

Cabe destacar que a partir del conocimiento del (UA), en un futbolista se puede mejorar la condición aeróbica si se entrena con intensidades que oscilen entre 10 o 15 pulsaciones abajo de la (FC) obtenida en el resultado del (UA). No obstante los científicos han tenido ciertas discrepancias en cuanto al análisis de dicho parámetro y la estandarización de las pruebas existentes para su obtención (Wasserman, 1991; Fox, 1992).

La principal polémica del (UA) es la precisión de su medición directa e indirecta, así como su definición fisiológica, lo cual se refleja en las contradicciones encontradas en las diferentes concepciones teóricas como son las de Skinner y McLellan, quienes coinciden con la existencia de tres umbrales de lactato sanguíneo, aeróbico, aeróbico- anaeróbico (transición) y anaeróbico. Por su parte Hughson evidencia la diferenciación del umbral anaeróbico en dos: umbral lactato y umbral ventilatorio, a partir del método por el cual fue obtenido (Walsh, 1988).

Tampoco existen criterios bien establecidos en cuanto al momento de la aparición del umbral anaeróbico. Algunos investigadores consideran que la aparición del umbral de lactato se da primero que el ventilatorio; sin embargo, un estudio con sujetos en cicloergómetro al punto de exhaustación se reportó la coincidencia en la aparición de ambos umbrales, el de lactato sanguíneo y el ventilatorio (Walsh, 1988).

Aunque las evidencias científicas apoyan que el comportamiento del parámetro umbral anaeróbico se acopla más a un sistema de umbrales que a una función lineal creciente, siguiendo esta tendencia se destaca que, en el momento en que se registra el primer incremento de la concentración de lactato sanguíneo, se marca el primer límite, designado "umbral aeróbico", término que por su contenido no es muy aceptado, ya que en ese punto no se producen cambios sustanciales en los procesos aeróbicos para el abastecimiento energético (Mishchenko, 1995; Wasserman, 1991).

Para obtener el umbral anaeróbico existen diferentes métodos, como son los directos en los cuales se sustraen muestras sanguíneas durante la ejecución de una carga de esfuerzo controlada, (entre ellas están las pruebas de lactacidemia progresiva), elaboradas con la finalidad de observar el comportamiento de la curva de lactato de un atleta y determinar el momento en el cual éste comienza a ser acumulado deduciendo el denominado umbral anaeróbico de lactato sanguíneo (UALs) (Mishchenko, 1995).

Dentro de los métodos indirectos, existe la prueba de campo denominada Conconi, prueba que se aplica en una pista de atletismo de 400 metros; mostrando como principales desventajas la dificultad en mantener controladas algunas variables externas (condiciones climáticas, tiempo y la fiabilidad del observador), las cuales pueden influir en el resultado de las mediciones. Cabe destacar que dicha prueba ha sido utilizada principalmente para investigaciones en el campo del atletismo, la natación y sin ser controlada en un laboratorio ni aplicada con regularidad en nuestro medio futbolístico a pesar de ser una opción muy viable por su costo, facilidad de aplicación y por dar resultados prácticos para su utilización en la planificación de deportes en conjunto; sin dejar por fuera que es una prueba de campo y adaptable a laboratorio lo cual hace que su aplicación sea

muy confiable pues su ejecución se puede dar en un ambiente muy similar al de competencia (González, 1992; Bosco, 1994).

Otra prueba indirecta, es la prueba de análisis de los cambios en la composición ventilatoria, llamada también Pendiente Ventilatoria (V-Slope), la cual ha sido muy utilizada en Costa Rica por los equipos de fútbol de primera división y selecciones nacionales. Esta se realiza con un analizador de gases con lo cual se obtiene el umbral anaeróbico ventilatorio (UAV), a partir de la medición de cambios en (O_2) y (CO_2) durante la ventilación pulmonar al hacer ejercicio. Su desventaja radica en los costos del equipo y en que su sensibilidad es afectada tanto por las condiciones del atleta, como por el tipo de laboratorio en el cual se realiza, siendo su accesibilidad muy limitada (Scheider, 1993; Yagesh, 1997).

El interés por medir el umbral anaeróbico ventilatorio se refleja en estudios como el de Scheider (1993), quién dentro del campo de la evaluación funcional analizó el nivel de confiabilidad del método (V-Slope simple), comparándolo con el método de declive (V-Slope) por computador; ambos métodos utilizados para obtener el umbral anaeróbico mediante la determinación de modificaciones en el intercambio gaseoso durante el incremento del ejercicio.

La correlación reportada fue de (0.95) entre ambos métodos, lo que indica que no hay diferencias estadísticas significativas entre los resultados que se obtengan con uno u otro método.

Por su parte Pinto (1981), concentró su interés en la revisión bibliográfica de estudios dirigidos a la evaluación del (UAV), destacando el trabajo de Balch y colaboradores (1978), quienes estudiaron el (UAV), mediante el análisis de la relación entre variables ergoespirométricas y la acidosis metabólica, para establecer un método de evaluación que no necesitará de una medición directa e invasiva del ácido láctico. Como resultado se dio la propuesta de un test ergométrico triangular, con cargas progresivas equivalentes a un (met) por minuto, realizado en

una banda eléctrica hasta que el individuo quede exhausto. También menciona una investigación en la cual se comparó la eficiencia del método metabólico (por tomas de sangre) y ventilatorio (por análisis de gases), para determinar el (UAV), analizando tres protocolos para determinar el (UAV).

Se concluyó que el método respiratorio si se utiliza con un incremento de 20 watts por minuto, da los mismos resultados que el método metabólico a nivel de 4 milimoles de lactato, en un protocolo rectangular con incremento de 50 watts cada cinco minutos. Asimismo se ha estudiado la reproducibilidad del método respiratorio, obteniendo una variabilidad entre el 5% y el 10%, con un coeficiente de correlación de 0.74 entre test y retest, utilizando un equipo que permitía el análisis ergoespiométrico con intervalos de 15 segundos. Mientras que con un equipo que posibilita el análisis después de cada ciclo respiratorio, su reproducibilidad fue mayor, con un coeficiente de correlación entre test y retest de 0.95. Concluyendo que su reproducibilidad depende fundamentalmente de la técnica utilizada (Pinto, 1981).

Lo anterior es de gran importancia ya que mediante el (UA), se puede determinar con mayor precisión la capacidad aeróbica real de un futbolista y sus adaptaciones metabólicas. A partir del conocimiento del (UA) se puede con mayor exactitud dosificar la intensidad del entrenamiento deportivo, permitiendo así adaptarlo a los objetivos de la planificación y a la capacidad individual, sin subestimar su ventaja en la predicción del rendimiento de un individuo en comparación con otro (González, 1992; Quintana, 1981 y Bosco, 1994).

AS. Es evidente que el conocimiento del (UA), representa un elemento fundamental en la definición de cargas de trabajo físico en el futbolista costarricense. De tal manera, la importancia de este estudio radica en que una posible utilización confiable de la prueba de Conconi y Cols (González, 1992), adaptada en un laboratorio para la obtención del (UA), mediante su comparación con la prueba metabólica utilizando analizador de gases, podría dar un respaldo más a

la teoría de los umbrales, a la posibilidad de medir indirectamente el (UALs), y su variación con relación al umbral ventilatorio (UAV), permitiendo en un futuro obtener datos válidos en investigaciones enfocadas a establecer perfiles por categoría de los futbolistas nacionales, así como aspectos de mejoramiento y adaptación cardiovascular o metabólica. Además, en la práctica, se abriría una nueva posibilidad para la evaluación del (UA), mediante una prueba indirecta alterna de laboratorio que muestre precisión y sea de bajo costo, dando acceso a los equipos de fútbol de menos categoría que requieren de dicha evaluación para mejorar su planificación deportiva (Bosco, 1994).

Los beneficios inmediatos de este estudio se reflejarían en poder contar con una prueba de fácil acceso al deportista por su costo, y cuyos resultados ayudarían en la determinación de la capacidad aeróbica, control de la intensidad de las cargas de entrenamiento y determinación de adaptaciones a diferentes modalidades del mismo; aplicaciones que hoy en día se realizan con poca frecuencia en Costa Rica debido al costo y a la poca información que se maneja en el país sobre la funcionalidad de este tipo de pruebas, para la dosificación individualizada del entrenamiento en el fútbol.

El propósito general del trabajo es determinar la diferencia entre los resultados obtenidos de la prueba indirecta de campo Conconi adaptada a una banda eléctrica, para su aplicación en un laboratorio, y los datos por la prueba indirecta ventilatoria con analizador de gases para su aplicación en el entrenamiento de futbolistas.

Objetivos de la investigación



Los objetivos de este estudio son los siguientes:

1. Determinar el umbral anaeróbico a partir de un grupo de futbolistas integrantes de la Selección Juvenil de Costa Rica en el año de 1996, mediante la prueba Conconi y Cols (González, 1992) adaptada al laboratorio.
2. Obtener el umbral anaeróbico ventilatorio de un grupo de futbolistas pertenecientes a la Selección Juvenil de Costa Rica en el año de 1996, mediante la prueba indirecta de laboratorio denominada prueba "Ventilatoria con analizador de gases".
3. Determinar la relación existente entre los datos de la frecuencia cardiaca (Fc), obtenidos de un grupo de futbolistas pertenecientes a la Selección Juvenil de Costa Rica en el año de 1996, en la prueba Conconi y Cols (González, 1992), adaptada al laboratorio con los de la prueba ventilatoria mediante analizador de gases.

CAPITULO II

MARCO CONCEPTUAL

En este capítulo se tratan temas relacionados con las bases teóricas de algunos procesos fisiológicos que aclaran el concepto del umbral anaeróbico de lactato sanguíneo (UALS) y ventilatorio (UAV), sus métodos de obtención y las controversias entre los mismos; además se enfatiza en mostrar la importancia de dicho parámetro, para la determinación de la capacidad aeróbica y su utilización en la dosificación del entrenamiento de ciertas especialidades deportivas.

DEFINICION DE UMBRAL ANAEROBICO

El umbral anaeróbico como parámetro fisiológico representa un nuevo paradigma, el cual aún no ha sido bien definido, ya que existen una serie de controversias sobre su comportamiento, las que se reflejan en las teorías existentes que no concuerdan del todo, complicando así su entendimiento (Mahon, 1997; Walsh, 1988).

Rodado (1992), explica que para definir el umbral anaeróbico durante la ejecución de una actividad física, específicamente dinámica y de intensidad creciente, debe comprenderse en primer lugar lo siguiente: cuando se hace actividad física llega un momento en el cual la liberación de energía necesaria para realizar el trabajo requerido ya no puede ser dada por procesos aeróbicos.

Dicho momento difiere entre las personas, y es en este lapso cuando empieza a elevarse la concentración de ácido láctico por vía anaerobia. En este punto, el nivel de ácido láctico en la sangre arterial empieza a aumentar en mayor proporción, lo cual es denominado por el autor,

frontera del trabajo de resistencia o umbral aeróbico-anaeróbico. En este contexto se destaca que el máximo nivel de ácido láctico arterial que se puede soportar, sin efectos negativos en el desempeño de una actividad de intensidad constante, es de 3, 4 ó 5 milimoles (mmol/L), a lo que se conoce como rango de tolerancia respectivamente, el cual se refleja también en un cambio brusco que afecta el comportamiento lineal de la gráfica conformada por los índices fisiológicos de la ventilación pulmonar (VE), el coeficiente respiratorio (RQ) y el excedente de ácido carbónico.

Por su parte González (1992) es más específico detallando que se debe definir el umbral anaeróbico (UA), como el punto de ruptura de una variable metabólica o ventilatoria. La primera se refleja mediante cambios en las cantidades de lactato sanguíneo o muscular medidas en cantidad de milimoles (mmol/L), ya que la producción de este metabolito a partir de un esfuerzo progresivo, se incrementa en forma brusca produciéndose acumulación, y dándose la aparición de sus efectos negativos principalmente la disminución en la capacidad de la contracción muscular. Con relación a la segunda, para identificar ese parámetro se analizan los cambios en las cantidades de (CO₂) y (O₂) medidos en (ml/kg), durante la expiración, ya que ella se ve afectada en la medida que se incrementa un esfuerzo.

Con base en lo anterior se definen en principio dos umbrales; el umbral anaerobio ventilatorio (UAV) y el umbral anaeróbico de lactato (UAL). El primero ha sido determinado mediante modelos de un solo punto de ruptura, con los cuales se han podido identificar las pendientes de (VCO₂) sobre el (VO₂) durante un trabajo progresivo, método que se conoce como Análisis de la Pendiente Ventilatoria o "V-slope", que permite detectar el (UAV) al identificar un exceso en la producción de (CO₂). Mientras que para el (UAL) la técnica aplicada es el muestreo de lactato sanguíneo, para detectar el momento en el cual el lactato aumenta sobrepasando los

niveles de tolerancia establecido en 4 (mmol/L) de dicho componente (Yagesh, 1991; Wasserman, 1991).

Mishchenko (1995), por su parte subdivide el umbral de lactato sanguíneo (UALs), en tres umbrales distintos. Señala como primer umbral, el aeróbico (UA), punto en el cual se presenta una concentración de lactato alrededor de unos 2 (mmol/L). Este punto tope indica el límite superior de la producción energética meramente aeróbica. Conforme incrementa la carga de trabajo parece que la concentración de lactato en la sangre aumenta dramáticamente de forma exponencial, lo cual ocurre generalmente cuando se dan concentraciones de lactato cercanas o iguales a los 4 (mmol/L), momento en el que aparece el umbral aeróbico - anaeróbico y cuando ésta llega a 4.6 (mmol/L) o más, se puede considerar dicho umbral completamente anaeróbico. Lo anterior se sintetiza, partiendo de la existencia de una serie de fases que se dan durante la transición de un proceso aeróbico a uno anaeróbico y estas son: Fase I, que es aeróbica donde el parámetro obtenido se define como umbral aeróbico (UA2), fase II, transición aeróbico-anaeróbico, el parámetro aquí definido es el umbral anaeróbico, fase III, arroja como resultado un índice principalmente anaeróbico, sin embargo, el lapso en que se da el punto de rompimiento entre uno y otro es muy corto por lo cual, para mayor facilidad en el manejo de dichos términos, se habla más que todo de un umbral anaeróbico (UA4) u OBLA, cuyo parámetro se ha estandarizado en una cantidad de 4 mmol/L.

González (1992), con relación a lo anterior aclara que sobre la base de la cinética individual del ácido láctico y mediante cálculos matemáticos complejos y discutidos por muchos autores, es que se ha identificado los anteriores umbrales de lactato sanguíneo.

Por lo tanto, se puede definir el umbral anaeróbico, como el punto máximo de la capacidad del sistema cardiovascular de aportar (O_2) en una actividad física en forma adecuada, para evitar la anaerobiosis muscular que fomenta la fatiga, aclarando que un incremento de lactato, indica la posibilidad de producir una acidosis metabólica, la que se refleja, en la alteración del intercambio gaseoso (Wasserman, 1991; Ribeiro, 1981; y Weyand, 1994).

Finalmente, Walsh (1988) y Mishchenko (1995), definen el umbral anaeróbico, como el parámetro que representa el nivel más alto del (VO_2), en el cual se puede ejecutar un ejercicio sin la producción de una acidosis láctica sostenida, lo que ocurre generalmente al 55% de su (VO_2 máx), en un sujeto normal. Estos autores concuerdan con que el (UA) es un componente de dos umbrales individuales no simultáneos como es el (UAV) y el (UALS) respectivamente. Aclarando que ambos procesos son diferentes y reflejan el límite de la producción de energía aeróbica durante la ejecución de una actividad física; diferenciándose principalmente en la velocidad con la que se manifiestan los cambios orgánicos indicadores de la iniciación de dichos umbrales.

IMPORTANCIA DEL UMBRAL ANAEROBICO EN EL DEPORTE

La investigación del umbral anaeróbico no tendría sentido si su criterio no tuviera una importancia sólida y una utilización práctica en el campo deportivo, como se manifiesta principalmente en el desarrollo de la resistencia aeróbica de los deportistas (Janssen, 1989).

Para la evaluación de la intensidad del entrenamiento es indispensable obtener el (UA), como indicador de la capacidad del atleta para realizar actividades de larga duración, lo cual podría responder a la interrogante sobre la eficacia del entrenamiento establecido para el ejecutante,

Tesis
4402

CD003371

tomando en cuenta que no se puede determinar el régimen óptimo de entrenamiento si no se conoce la capacidad funcional del individuo (Brooks, 1984; Smith, 1997).

Mishchenko (1995), muestra con evidencias claras que la determinación del umbral anaeróbico arroja información importante para determinar la preparación funcional de los deportistas y para manejar la intensidad de las cargas. Como índice de la preparación funcional de los deportistas, el (UA) tiene ventajas sobre el (VO₂ máx); debido a que su determinación depende de la motivación de los deportistas a la hora de efectuar las pruebas.

Cuando se trata del desarrollo de la resistencia aeróbica los resultados deportivos están relacionados en mayor grado con el umbral anaeróbico, que con el (VO₂ máx), relación que acrecienta conforme sea más larga la distancia a cubrir en la competición. Además indica que la fuerza de la carga o intensidad de entrenamiento, debe aumentar sólo en el grado en que aumenta el ("punto de deflexión" de la FC) (UA), lo cual se logra con entrenos cuya intensidad no exceda dicho límite, pero que esté cerca del mismo (Fox, 1992).

En un estudio se utilizaron los resultados de 22 investigadores y de los exámenes de deportistas, para comparar los cambios del (VO₂ máx) y del umbral anaeróbico (UAN) durante un proceso de entrenamiento dirigido a mejorar la resistencia aeróbica. El tope se determinó por el umbral de lactato sanguíneo (UL), como por la dinámica de la ventilación pulmonar durante el proceso del entrenamiento físico. Los datos muestran que el incremento del umbral de lactato como consecuencia del entrenamiento físico en gente joven, es del 22-39% cuando el entrenamiento se prolonga de 1 a 20 semanas (con una intensidad de las cargas preparatorias del 25% al 52% del (VO₂ máx), obteniéndose una correlación clara entre el aumento del (VO₂ máx) y el del umbral de lactato como consecuencia del entrenamiento, lo que se refleja por ejemplo en una prueba de larga distancia como es un maratón cuyo resultado está estrechamente vinculado



el umbral anaeróbico ($r = 0.98$). Con el mismo incremento del (VO_2 máx), el aumento del umbral de lactato sanguíneo (UALs) supera habitualmente el umbral ventilatorio (UAV) ($r = 0.70$) (Mishchenko, 1995).

Cabe mencionar la obtención de una correlación alta y positiva ($r = 0.99$), entre la velocidad de carrera; la FC (con la que se puede obtener el momento en el que se da el UA) y el resultado de una carrera de una hora. Mientras que en una carrera de 5 Km; la correlación disminuyó a ($r = 0.92$), y fue considerablemente inferior en las distancias de 1.500 m y más cortas. Estos datos demuestran que la (FC) promedio durante la carrera competitiva de una hora corresponderá a la (FC) del umbral anaeróbico (Beneke, 1996).

Janssen (1989) argumenta que la obtención del umbral anaeróbico ofrece la posibilidad de individualizar los entrenamientos para el desarrollo de la resistencia aeróbica. Dicha individualización es de suma importancia para que el efecto del entrenamiento sea óptimo, según el objetivo del mismo.

Walsh (1988) sugiere que el umbral anaeróbico en individuos no entrenados ocurre al 55% de (VO_2 máx), en cambio en atletas entrenados aeróbicamente surge alrededor del 70% del (VO_2 máx), y en algunos casos hasta el 85% del (VO_2 máx) en atletas altamente entrenados. Por lo que se sugiere una clasificación del grado del entrenamiento a través del umbral anaeróbico en 3 escalas: no entrenados presenta su umbral anaeróbico al llegar al 45% del (VO_2 máx), en individuos moderadamente entrenados entre 45% y 65% del (VO_2 máx) en atletas entrenados alcanzan el 85% del (VO_2 máx).

Estudios más recientes sugieren que dicha clasificación es más adecuada, sobre todo para la evaluación funcional de atletas, durante el estudio de la capacidad de producción de energía aeróbica para esfuerzos de larga duración. El límite superior del umbral aeróbico (UAE) se

caracteriza por el aumento de la concentración de lactato a 2 (mmol/L), y a un consumo de (O₂) entre el 50 y el 60% con una (FC) entre 130 y 150 lat/min, mientras que el del umbral anaeróbico (UA) se da a una concentración de lactato superior a los 4 (mmol/L, a un consumo de O₂ entre el 65% y el 90% con una (FC) entre 165 y 180 lat/min (Boulay, 1997).

Cuanto más alto sea el porcentaje del (VO₂ máx) en que se detecta el umbral anaeróbico, más se puede esperar una mejora de la performance. Por ello, la elevación de nivel del (UAN) es uno de los más importantes objetivos planteados a los deportistas que se especializan en carreras de fondo (Ribeiro, 1981).

Brooks (1994) añade que hay dos errores muy frecuentes que se dan al dosificar el entrenamiento dirigido al aumento de la resistencia aeróbica; uno es la poca intensidad que conlleva a una baja estimulación y el otro la sobrecarga, responsable del sobreentrenamiento, perjudicando los resultados positivos en el atleta. El beneficio de obtener el umbral anaeróbico en estos casos radica en que con dicho dato, se puede prescribir la intensidad del entrenamiento en forma precisa con lo cual las adaptaciones fisiológicas se pueden dar en un menor tiempo.

La intensidad general de las cargas de entrenamiento y su orientación pueden ser apreciadas según el grado de intensidad de trabajo del sistema cardio-respiratorio, (por ejemplo, el nivel de la frecuencia cardíaca) y de los mecanismos de regulación de sus funciones; así como según el metabolismo (por ejemplo, la concentración de lactato en la sangre) durante las cargas de entrenamiento y en el período de recuperación. Los anteriores datos se utilizan también para regular la intensidad y la secuencia de las cargas de entrenamiento posteriores. Estas apreciaciones se basan en la noción acerca del carácter específico de los cambios funcionales y metabólicos, inherentes a la orientación energética concreta requerida para un entrenamiento (Yagesh, 1997).

Para utilizar el (UA) en la ejecución de los entrenamientos se requiere un índice sencillo de medir, que refleje la respuesta del organismo al esfuerzo. El índice más accesible en estas condiciones es la (FC), tomándose en cuenta que la misma puede ser fácilmente monitoreada a través de pulsómetros o por la toma directa dactilar con el fin de evitar llevar al atleta al tope de su capacidad (Mishchenko, 1995; Janssen, 1989).

Wasserman (1991) indica que para el desarrollo de la resistencia aeróbica la aplicación de cargas de entrenamiento con una intensidad que no sobrepase el umbral anaeróbico es la vía óptima para mejorar dicha cualidad. Con este tipo de entrenamiento el límite anaeróbico aumenta. Si al iniciar un proceso de entrenamiento (en una persona no entrenada), la (FC) indica que el punto de flexión se haya cuando la misma llega a 130 lat/min, después de un largo período de práctica, o en un deportista calificado este puede aparecer hasta alcanzar 180 lat/min. En deportistas de alta categoría el umbral anaeróbico (UA) varía cuando el entrenamiento es muy intenso, ya que aumenta la capacidad de oxidación del tejido muscular, debido al perfeccionamiento de la función "purificadora" para eliminar el lactato del músculo o ser utilizado en la contracción muscular.

Mishchenko (1995), agrega que a medida que se intensifica el entrenamiento deportivo, mejora en el músculo esquelético la capacidad de utilización de lactato en forma proporcional al incremento de su concentración en él. La cantidad máxima de absorción de lactato por el músculo es de $4 + \delta - 1$ (mmol/min). A medida que aumenta la potencia se intensifica la concentración de lactato en el músculo, pero no la velocidad de su consumo o metabolización por parte de este. El entrenamiento deportivo, sin embargo, influye en este proceso ya que con un entrenamiento a una intensidad bajo el umbral anaeróbico; mejora la función purificadora muscular contribuyendo a la eliminación del lactato muscular y sanguíneo, evitando su acumulación excesiva. Esta mejoría se

refleja al evaluar el (UA). Por ejemplo en un estudio reportado por Walsh (1988), se da como resultado de un entrenamiento de 20 semanas, con una carga física diaria cercana al (UA) durante (20 min), la disminución de la concentración de lactato sanguíneo medida al final de la carga de (6,6 + ó - 1,7 mmol/L, en comparación con 7,6 +1 mmol/L, observado en iguales condiciones antes del entrenamiento). Al mismo tiempo, la concentración de lactato en el músculo vasto externo (biopsia) fue la misma antes y después del entrenamiento.

Lo anterior es un indicativo de que un factor sumamente importante en la formación del efecto concreto de entrenamiento, para el desarrollo de la resistencia aeróbica, es el cálculo y la regulación de la concentración de lactato en los músculos y en la sangre durante dicho proceso, debido a que un alto nivel de lactato en el músculo impide la producción de energía por vía aeróbica; además, los sistemas fermentivos de la producción energética aeróbica son bloqueados por el mecanismo lactato-acidosis. Si se realizan entrenamientos con cargas que producen dicho efecto, se necesitará de largo tiempo para restablecer el potencial oxidativo del tejido muscular.

De continuarse con esta práctica durante cierto período, disminuirán las posibilidades de la producción energética aeróbica, lo que ocurre con frecuencia. Es por eso, el afán de mantener un nivel bajo de ácido láctico que favorezca la realización y el desarrollo de la resistencia aeróbica. El mecanismo lactato-acidosis, también hace más lenta la oxidación de las grasas y la transformación de fosfocreatina (Boulay, 1997).

Por lo anterior es necesario controlar la intensidad del entrenamiento para evitar dichos inconvenientes que generan pérdida de la capacidad física por sobre entrenamiento. Cuando se da una acidosis metabólica producto del aumento en las concentraciones de lactato, sucede que se afecta la oxidación de las grasas y la transformación de fosfocreatina alterando la permeabilidad en la pared de la célula muscular, reduciendo la eficacia de sus funciones y aumentando la

concentración de úrea y para su recuperación es necesario un largo proceso de restablecimiento de la célula muscular afectada que dura entre 1 y 4 días, proceso que se acelera con ligeras cargas de entrenamiento recuperador, las cuales ayudan a eliminar el lactato de los músculos y a nivelar las concentraciones de úrea (González, 1992; Astrand, 1985).


Bongbele (1990) agrega además que las altas concentraciones de lactato en los músculos y la sangre alteran la coordinación de los movimientos. Con un nivel de lactato sanguíneo superior a 7-8 mmol/L, eso se hace tan evidente que el perfeccionamiento de la maestría técnica en estas condiciones resulta ineficaz y aumenta el riesgo de microrupturas en el tejido muscular que pueden conducir a lesiones más graves.

Pinto (1981) indica que la funcionalidad metabólica determina el alto grado de desarrollo de las respuestas funcionales metabólicas y de restablecimiento. Esto se nota al observar un deportista de elite que se caracteriza tanto por una aceleración más rápida del consumo de (O_2) durante una carga de 1 min, debido a una salida más rápida del lactato al cauce arterial. Sobre esto una investigación con remeros de alto rendimiento (pruebas de kayak en distancias de 500 m) mostrando una gran relación entre los índices de la velocidad en las respuestas de abastecimiento aeróbico de energía, el (VO_2 máx) ($r = 0.74$) y la deficiencia de (O_2) ($r = 0.62$).

Mishchenko (1995) y Ribeiro (1981) mencionan que los niveles de lactato pueden obtenerse tomando muestras sanguíneas del dedo de la mano, como se realizó en un estudio con el equipo de natación del Este de Alemania, para determinar la intensidad de trabajo de un equipo de alto rendimiento, obteniéndose niveles de 4mmol/L de ácido láctico sanguíneo, lo cual se consideró como óptimo para realizar trabajos aeróbicos. Este parámetro en comparación con la utilización del umbral ventilatorio con el cual se puede guiar también la intensidad del entrenamiento, tiene como desventaja que su medición requiere de aparatos especiales, los cuales

no son generalmente disponibles para el entrenador o el atleta, a menos que se disponga de un laboratorio.

FUNDAMENTOS FISIOLÓGICOS RELACIONADOS CON EL UMBRAL ANAERÓBICO

 González (1992), Astrand (1985) y Fox (1992) indican que el umbral anaeróbico es un proceso, cuyo estudio y entendimiento exige relacionar conocimientos sobre metabolismo y funcionamiento cardiopulmonar, principalmente.

Todos los procesos metabólicos al final de cuentas dependen de la oxidación biológica, la cual puede ser determinada a partir de mediciones en la cantidad de oxígeno utilizado, ello puede ser bien estimado mediante el rango de producción de calor, conocido como rango metabólico. En deportistas se observa que la máxima capacidad de un individuo para utilizar oxígeno (VO_2 máx) es mayor en aquellos que han sido expuestos a ejecuciones fuertes de trabajo por largos períodos, en comparación con los sujetos sedentarios. Por consiguiente una mejor capacidad en el consumo y la utilización de oxígeno indican una mayor capacidad metabólica, esto a nivel de umbral anaeróbico significa un retraso en el tiempo de aparición y reflejo de una mayor capacidad física (Brooks, 1984).

Durante una actividad física prolongada las reacciones metabólicas aeróbicas se manifiestan con mayor intensidad, ya que el organismo necesita de más energía inmediata para funciones como, síntesis de nuevo material celular para reponer el perdido, transporte de sustancias contra gradientes de concentración, mantenimiento estable de la temperatura corporal, así como un aporte mayor de energía y oxígeno para la ejecución de trabajo mecánico a nivel muscular (Karlman, 1994).

Por lo anterior es necesario que la célula recurra al proceso denominado oxidativo para la conversión de energía química a partir de las fuentes alimenticias, la cual es usada en la contracción muscular. Estas reacciones metabólicas que facilitan la obtención de componentes orgánicos para transformarlos en energía utilizable son de suma importancia, ya que dicha función finalmente es un factor que facilita el poder o no realizar una actividad física durante un período determinado y a cierta intensidad (Fox, 1992).

Wasserman (1991) señala que la producción (conversión) de energía se puede dar a través de dos vías: la aeróbica, en donde se produce una serie de reacciones químicas que requieren la presencia de oxígeno, para producir energía a partir de la degradación de (ATP) durante un período largo, y la anaeróbica que contrario a la anterior, necesita de muy poca presencia de oxígeno para producir energía, pero por tiempo limitado.

Ribeiro (1981) aclara que los procesos aeróbicos y anaeróbicos durante un trabajo físico, independientemente de la intensidad, involucran los sistemas respiratorio y circulatorio. En un proceso aeróbico estos sistemas deben encargarse de aportar suficiente oxígeno a las células musculares, manteniendo una oferta que cubra la demanda producida por la contracción de las fibras del músculo durante un tiempo indefinido lo cual es un objetivo del entrenamiento.

Si la producción de energía se da a expensas del sistema glucolítico y oxidativo, el oxígeno captado por el pulmón (Volumen de oxígeno VO_2), es transportado al sistema circulatorio y de éste al músculo, específicamente a las mitocondrias de las células musculares en donde se activa el denominado Ciclo de Krebs; vía metabólica que utiliza el (O_2), para producir (ATP) y (CO_2) como producto de desecho. Este último deberá eliminarse por los pulmones, lo que se conoce como volumen de dióxido de carbono (VCO_2). La producción de ácido láctico durante este

proceso es muy poca por lo que el volumen de oxígeno (VO_2) y (VCO_2) al ser medidos se comportan en forma lineal.

Por el contrario, si hay un aporte de (O_2) insuficiente es decir, que no se puede cubrir durante una actividad física la demanda del sistema muscular, la participación del metabolismo anaeróbico será predominante, dándose como consecuencia un aumento en la producción y acumulación en el sistema circulatorio del componente metabólico denominado lactato, reaccionando el organismo con un aumento en la producción del amortiguador bicarbonato ($NAHCO_3$), con el fin de evitar la formación de una acidosis metabólica, la cual activa la presencia de ácido carbónico y éste por su inestabilidad, se disocia en (CO_2) y agua, obteniéndose como resultado (CO_2) metabólico por la presencia de ácido láctico (AL), a lo que se le agrega el (CO_2) respiratorio, lo que indica un aumento en la hipoxia de las áreas musculares más activas donde ambos deben eliminarse vía pulmón, modificando así la razón de intercambio gaseoso (RQ), la cual se observa en el cambio de la función lineal en la relación (VCO_2) versus (VO_2), y la intensidad de trabajo (Garnier, 1996; Wasserman, 1991).

Cabe destacar que las vías aeróbica y anaeróbica son predominantes para la ejecución deportiva, debido a que la capacidad de efectuar una actividad física de larga duración depende de la captación, transporte y utilización de oxígeno para producir energía; de igual manera se aplica a actividades de corta duración, cuya realización necesita de una adecuada capacidad metabólica para producir energía, pero en este caso con muy poca presencia de oxígeno (Ribeiro, 1981). Todos los procesos anteriores son sensibles a la intensidad de la actividad física y su modo de operación se fundamenta en un continuum energético que varía la forma de suministrar ATP, dependiendo del tipo de ejecución física, la que se rige por el tiempo de duración y la intensidad.

Por ello la hipótesis de que si se mejoran los sistemas energéticos que más interfieren en una actividad física, aumentará el desempeño del atleta que la practica; lo cual no es sencillo por la complejidad que esto conlleva en la dosificación del entrenamiento (Fox, 1992).

González (1992) argumenta que el músculo tiene la capacidad de cambiar, adaptarse y mejorar su eficiencia en la producción de energía, según el tipo de demanda energética, aumentando el número de mitocondrias y la concentración de sustrato, lo que se refleja en la actividad enzimática. Es por esta capacidad de adaptación muscular que puede mejorarse la eficiencia de la glucólisis anaeróbica; si necesitara obtener mucha energía para realizar contracciones intensas o rápidas, y también se mejora la obtención de energía por el proceso de fosforilización oxidativa, al necesitar menos energía rápida, pero sí un suministro constante durante mucho tiempo, lo cual afecta el momento en que se manifiesta cualquiera de los umbrales anaeróbicos.

Con relación al metabolismo energético, se ha encontrado que, mediante entrenamientos aeróbicos de larga duración, se producen aumentos en el uso de la grasa como fuente energética; así mismo que las personas entrenadas en resistencia utilizan mayor cantidad de lípidos como sustrato energético, en comparación con los no entrenados en esta modalidad. Estas adaptaciones se reflejan no sólo por el aumento de mitocondrias a nivel celular y enzimas oxidativas, que mejoran tanto la oxidación celular como el transporte de ácidos grasos libres (FFA) de fuera hacia adentro de la mitocondria, por el sistema carnitina-palmitiltransferasa presente en la pared mitocondrial, si no también por la capilarización del músculo que beneficia el paso de sustratos energéticos y la utilización de oxígeno, aumentando así la resistencia física (Fox, 1992).

González (1992) y Weyand (1994) indican que lo anterior ha podido ser medido mediante diferentes pruebas y con el fin de pronosticar la capacidad atlética, aclarando que es más difícil la

medición de los procesos anaeróbicos en comparación con los aeróbicos. No obstante, hay mayor complejidad en la evaluación de los puntos intermedios o de transición aeróbico - anaeróbico, como sucede con el complejo umbral anaeróbico (UA), ya que para su determinación existen pocas pruebas y las más precisas son de mucho costo, tomando en cuenta que muchas de ellas no se pueden ajustar a los diferentes principios teóricos establecidos por las controversias entre los mismos.

Walsh (1988) explica que para el entendimiento adecuado de los factores que pueden afectar la determinación del umbral anaeróbico, es necesario aclarar primero las malas concepciones acerca de la terminología del mismo, ya que el término umbral anaeróbico se utiliza con el fin de manejarlo en forma práctica, sin embargo, no es el más apropiado para la descripción del umbral de lactato y del umbral ventilatorio, ya que éstos pueden ser disociados por una variedad de protocolos experimentales y considerándoles por separado. Aunque el umbral de lactato y el umbral ventilatorio pueden ser inducidos con la aparición de la anaerobiosis, existe cierta diferencia entre ellos en cuanto al momento en que se manifiestan durante un esfuerzo físico; por ello su explicación depende del tipo de umbral, ya sea anaeróbico de lactato, el cual puede ser sanguíneo o muscular, o el anaeróbico ventilatorio. Aunque existe una interacción entre ellos su coincidencia en la manifestación aún no es del todo precisa.

BASES TEORICAS PARA SU DETERMINACION.

Wasserman, (1991) y Beaver, (1986) se refieren a la controversia de si el lactato arterial aumenta como una función continua del ritmo metabólico durante el ejercicio creciente, o si sólo

empieza a aumentar sistemáticamente por encima de un ritmo metabólico umbral, lo cual es fundamental para entender la energética del ejercicio.

Lo anterior se ejemplifica con estudios de investigadores como Yeh y colaboradores (1983), quienes informaron que el lactato aumentaba exponencialmente como función del (VO_2), es decir sin umbral, ya que sus datos se ajustaban a una única línea recta en un gráfico semilogarítmico; por el contrario otros investigadores repitieron esos estudios con una densidad uniforme de muestreo arterial, y encontraron que los datos se ajustaban a un modelo semilogarítmico con dos componentes aproximadamente lineales bien definidos, que tenían un punto de intersección es decir, un umbral. Tal y como se informó previamente, Walsh (1988) en un estudio con diez voluntarios masculinos sanos, de edades comprendidas entre los 19 y los 39 años, que ejecutaron un ejercicio con carga creciente en una bicicleta ergométrica con un ritmo de trabajo que aumentaba en 15 Watts/m hasta el límite de tolerancia; las pruebas eran siempre precedidas de un período de 4 minutos de ejercicio sobre la bicicleta sin carga. La ventilación por minuto (V_e), el (VO_2) y el (VCO_2) eran registrados por medios computarizados "respiración a respiración" usando un ordenador (Hewlett Packard modelo 1000, Palo Alto, California). En el análisis de los datos se obtuvo que el modelo de umbral que se deriva de la representación gráfica del logaritmo de (L_a) frente al logaritmo del (VO_2). Definiendo claramente la transición en el ritmo de acumulación del lactato, tomándose la intersección de las dos líneas para definir el umbral del lactato (UALs).

Con base en González (1992) y Mishchenko (1995) el método más preciso para determinar el umbral anaeróbico (UA), es por medio de la ejecución de un ejercicio físico durante un tiempo prolongado igual o mayor a 30 minutos, para determinar la acumulación de lactato sanguíneo que refleja en este caso la participación del proceso anaeróbico láctico para el aporte de energía durante

la actividad muscular, lo que indica que la vía de oxidación ya no es capaz de oxidar la cantidad de lactato producida por un proceso aeróbico. Este modelo se basa en solamente el punto de ruptura o cambio del lactato sanguíneo.

Otros métodos son los modelos de dos puntos de ruptura que obtenidos mediante lactato sanguíneo, buscan fijar dos puntos en concentraciones de lactato de 2 mmol/L y 4 mmol/L, denominándose (UA2 y UA4), y entre los dos queda definida la zona de transición aerobia-anaerobia (González, 1992).

Según Janssen, (1989) y Mishchenko, (1995), para determinar el umbral anaeróbico, se utilizan con mucha frecuencia, las pruebas basadas a partir de relaciones entre la frecuencia cardiaca (FC), velocidad, lactato o una combinación entre estos parámetros.

No obstante, Pinto (1981) se inclina por el uso de valores fijos para calcular los umbrales, ya que considera que es el método más idóneo para ser aplicado en la práctica, debido a que la aproximación de los puntos medios de 4 mmol/L a 6 mmol/L no menos permiten, con toda seguridad, establecer el punto en que se cruza la parábola con las líneas que corresponden al valor fijado de la concentración de lactato. Simultáneamente, el uso de valores fijos requiere la rigurosa observación de las condiciones que exige la prueba, ya que el nivel de la concentración precedente al umbral puede variar ampliamente de acuerdo con la actividad anterior.

UMBRAL ANAEROBICO DE LACTATO

Para obtener datos sobre el comportamiento del lactato muscular y sanguíneo se han realizado estudios detallados utilizando métodos de trazos radioactivos y no radioactivos, los

cuales han mostrado que el ácido láctico es un metabolito muy dinámico, tanto en estado de reposo como durante un ejercicio (Smith, 1997).

Con relación al modelo fisiológico del umbral anaeróbico, desde los años 60s se ha querido determinar directamente que pasa con el ácido láctico después del ejercicio. Es por ello que en sus estudios Brooks y Gasser (1980) inyectaron ($Cu-14c$) y lactato en ratas ejercitadas hasta alcanzar el punto de fatiga y también durante la recuperación, analizando sangre, corazón y tejidos musculares. Para ello los metabolitos fueron separados y cuantificados usando radiocromatografía bidimensional. Por medio de esas radiocromatografías, las vías metabólicas del lactato fueron trazadas. Los resultados de esos experimentos revelan que los caminos que toma el ácido láctico son diversos durante la recuperación, como son reposición, oxidación y producción de energía (Brooks, 1984).

Sin embargo, la experimentación y la terminología han tenido cierta confusión en la fisiología contemporánea, porque al principio los científicos observaron un incremento en los niveles de ácido láctico en el músculo y en la sangre como resultado de una actividad física fuerte, por lo que asumieron que en el tejido se dio un proceso anaeróbico (sin oxígeno). No obstante, durante el ejercicio hay una serie de razones por las cuales se forma el ácido láctico. La presencia de oxígeno o insuficiencia del mismo es sólo una de ellas (Karlman, 1994).

En estado de reposo y durante un ejercicio suave, el ácido láctico es producido y removido en iguales proporciones, balance en que intervienen diversos caminos por ello las concentraciones en sangre y su eliminación podrían no ser medibles en forma fiable a través del flujo sanguíneo. (Brooks, 1984; William, 1991).

Al pasar de reposo a un ejercicio de mediana intensidad, algo de ácido láctico es continuamente formado por el metabolismo de las células sanguíneas rojas por la falta de enzimas,

o mitocondrias que las ayuden a mantener un equilibrio en las reacciones químicas, aún así el lactato no es acumulado porque es removido conforme se produce (Karlman, 1994).

Según Karlman, (1994) y William, (1991) cuando hay suficiente (O_2) en las células, se transforma el pirovato en sustrato y es llevado por el ($NADH$) para ser oxidado en la mitocondria en el ciclo de Krebs con el (O_2) y formar (H^+), (H_2O) así como (ATP). En estado estable el (H^+) es oxidado por medio de la cadena de transporte de electrones al mismo tiempo que se forma. La glicólisis aeróbica se da por ello cuando el ácido pirúvico es el sustrato predominante.

Con relación a lo anterior en un ejercicio extenuante, cuando las demandas de energía exceden el suplemento de oxígeno para su utilización, la formación de (H^+) no pueden ser procesado por medio de ($NADH$) mediante el intercambio respiratorio. Se da por ende la necesidad de energía aportada anaerómicamente, la cual depende de la capacidad del (NAD) para la oxidación del 3 fosfogliceraldehido; en este caso el (NAD) libre se combina con los excesos de (H^+) y con el ácido pirúvico en un paso adicional catalizado por la enzima láctica deshidrogenasa formando ácido láctico, reacción que es reversible (William, 1991).

Por lo tanto cada molécula de ácido láctico que se forma en el músculo es llevada al torrente sanguíneo donde se amortigua, o pasa a sitios de metabolización energética, para la resíntesis de (ATP), pero si se produce una acumulación debido a que el tiempo del ejercicio a alta intensidad se prolonga y el metabolismo del atleta no tiene la capacidad de mantener el esfuerzo por este sistema, se da la fatiga disminuyendo la capacidad del sujeto, la cual está asociada con el incremento de la acidez que inactiva el sistema enzimático encargado de transferir energía, produciendo una disminución en las propiedades contráctiles del músculo esquelético, (Binder, 1991).

Sin embargo, el lactato no debe ser visto solo como un producto de desecho, ya que en actividades fuertes contribuye en la regeneración de (ATP) para aportar energía al formarse moléculas de pirovato y subproductos que sirven para ser usados en la síntesis de glucosa, aunque su aporte energético es pequeño (Karlman, 1994).

Con relación a la cantidad de ácido láctico este no necesariamente se acumula igual en todos los niveles de ejercicio: a) niveles ligeros de intensidad 25% - 50% del (VO_2 máx), no hay acumulación, cualquier producción de lactato es oxidado rápidamente. b) Niveles moderados, 50% - 55% del Vo_2 máx, empieza sus excesos a ser acumulados por no poder oxidarse a través de cambios respiratorios. c) Niveles de altos 55% - 90%, no puede darse a las células musculares energía a través de procesos aeróbicos, es a este nivel donde se da la aparición del (UALs).

Walsh, (1988) ; William, (1991) y Brooks, (1984), concuerdan con que la intensidad del ejercicio aumenta el (VO_2) incrementando linealmente, pero los niveles de lactato no cambian hasta cerca de un 60% del (VO_2 máx) como ha sido investigado, consecutivamente los niveles de lactato no incrementan linealmente. Aclarando que el punto de flexión en la curva de lactato sanguíneo por si solo no nos da información acerca del metabolismo anaeróbico, pues esto refleja solo el balance entre la entrada de lactato y su eliminación, punto que sí es de suma importancia para determinar la capacidad aeróbica.

Para efectos comparativos en lo que se diferencia un atleta de otro, según su capacidad, es en que dicho umbral aparece a un porcentaje mayor de la capacidad aeróbica, en ello pueden influir la genética, por el tipo de fibra muscular, las adaptaciones específicas locales por el entrenamiento, que contribuyen no sólo a una producción menor de lactato sino también a la capacidad de ser removido y metabolizado rápidamente. Otros aspectos que contribuyen a ello son la densidad capilar, el número de mitocondrias, las concentraciones de varias enzimas y agentes de

transferencia en el metabolismo aeróbico, también otras alteraciones que afectan son la capacidad celular de generar (ATP) aeróbicamente a través del rompimiento de ácidos grasos (Boulay, 1997 y William, 1991).

Sin embargo, hay algunos científicos que tienen otras teorías. Contrario a las anteriores, Karlman (1994), sostiene que el desarrollo de la acidosis láctica es esencial durante ejercicios de alta intensidad basándose en lo siguiente; cuando se produce un hidrógeno (H^+) en forma conjunta con el lactato por una difusión de (O_2) inadecuada a los tejidos, se eleva la (PO_2) capilar, facilitando la difusión de (O_2) a la mitocondria (mecanismo de feed back que se activa cuando hay desbalance entre el (O_2) y su aporte). Aunque la mayoría de investigadores indican que el lactato afecta la utilización de (O_2) por varios mecanismos como son las que se refieren al efecto de Bohr, vasodilatación, conversión Lactato-pirovato y producción anaeróbica de fosfágenos .

Karlman (1994), sostiene algunas controversias con las anteriores explicaciones como son: Que la producción local de (AL) consume (HCO_3) sanguíneo, produciendo un aumento (CO_2) que se agrega al (CO_2) metabólico, disminuyendo el (PH) local y aumentando la gradiente de difusión capilar al aumentar la (PO_2) por el efecto de Bohr, que el (LA) produce vasodilatación muscular facilitando la utilizan de (O_2) y que el (LA) producido en células musculares pobres en (O_2) se distribuye a las que tienen más (O_2), convirtiéndose en pirovato que se devuelve a los músculos en ejercicio, neutralizando la caída del estado de Redox en el citoplasma y aportando sustrato a la mitocondria sin cumplir con los pasos oxidativos.

Finalmente aclara que se produce una acumulación de fosfágenos generada anaeróbicamente; sin embargo su beneficio es pequeño comparado con el rol hidrógeno y vasodilatador (Karlman, 1994).

Con relación a la cadena de transporte de electrones esta y la citocromo oxidasa son responsables de la regulación del estado Redox del citoplasma y la mitocondria. Los pasos de la reacción de reoxidación del (NADH) del citoplasma son mayores que el del (NADH) mitocondrial. Un estado Redox disminuido del citoplasma deviene en una acumulación de ácido láctico, el cual por los mecanismos descritos aumenta la (PO₂) capilar. Tomando en cuenta que el estado Redox, se determina por la tasa relativa de reoxidación de las coenzimas oxidativas, tales como la nicotinamina adenina dinucleótido (NAD) (Fox, 1992; González, 1992).

Otro punto es que la glucólisis anaeróbica sostiene la respiración mitocondrial y la producción de energía en trabajos de baja intensidad. Al aumentar el ácido láctico en la célula muscular, el (O₂) extra es producido por la célula como resultado de la acción del buffer (HCO₃) sobre el (AL), entonces empieza a disminuir el (HCO₃) y el lactato aumenta en la célula, saturando el sistema Buffer, produciendo tanto el aumento en la producción celular no aeróbica de (CO₂) como la disminución en sangre del (HCO₃), lo cual sirve para aumentar la concentración del (H⁺) en el capilar, modificando hacia la derecha la curva de disociación de la oxihemoglobina, aumentando la (PO₂) capilar y el potencial para difusión de (O₂), anticipando la anaerobiosis total y permitiendo una extracción total de (O₂) de la sangre, que de otra manera no es posible (Walsh, 1988; Karlman, 1994 y Boulay, 1997).

El ácido láctico por lo tanto afecta la (PO₂) capilar, ya que cuando dicha presión se incrementa en forma lineal con el descenso del (PH), observándose que la concentración de lactato es relativamente grande comparada con la (PO₂) capilar de los tejidos que están produciendo (LA); esto podría facilitar enormemente la difusión de (O₂) bajo condiciones de alta demanda del mismo; pero el (VO₂) con el cual este efecto comienza a hacerse evidente podría variar entre sujetos, dependiendo de su umbral anaeróbico debido a que el (LA) producido por hipoxia sirve también

para adaptar a los tejidos, ayudando a rendir altos niveles de trabajo pero de tiempo reducido (William, 1991).

Parece ser que hay relación entre el (VO_2) y la dinámica de lactato, durante un esfuerzo intenso, ya que el lactato parece alcanzar un valor constante sólo cuando el (VO_2) logra un valor constante. En tanto la tasa de trabajo incrementa, el estado de equilibrio del (VO_2) se demora y el lactato aumenta. Luego de cada período de 3 min hay una buena correlación entre el aumento de (VO_2) y el de lactato, sin importar la duración del ejercicio ni la intensidad. Después de 3 min de ejercicio el incremento en el (VO_2) se hace posible por la producción de ácido láctico en las células en estado hipóxico, desviándose la curva de disociación de la oxihemoglobina hacia la derecha, aumentando la (PO_2) de los capilares, permitiendo a su vez, el aumento del (VO_2) en función de los requerimientos musculares (Tanaka, 1997; Karlman, 1994).

Por lo que se puede retomar que la acidosis láctica sirve para disminuir el estado anaeróbico, mecanismo por el cual la formación a distancia de piruvato neutraliza el estado Redox en el citoplasma de los músculos, bajo un proceso de glucólisis anaeróbica. Por ende la glucólisis puede ser aeróbica sin un cambio en estado Redox del citoplasma, cuando el transporte de protones de la membrana mitocondrial se mantienen en estado estable, por las coenzimas mitocondriales y la cadena de transporte de electrones (Karlman, 1994; William, 1991).

No obstante Walsh (1988) se inclina por diferenciar el umbral anaeróbico según el método utilizado en su determinación, refiriéndose al umbral de lactato sanguíneo sólo cuando se determina por medio de la medición en la concentración del mismo en sangre o umbral de lactato muscular si se obtiene por muestra del músculo. A su vez, menciona que la probabilidad de que las concentraciones de lactato sanguíneo no reflejen la producción de lactato en el músculo activo es apoyada por la observación de una diferencia significativa entre el lactato muscular y las

concentraciones del lactato sanguíneo. Esto podría deberse al bajo flujo de lactato desde los músculos, de modo que las concentraciones del lactato muscular podrían exceder frecuentemente las concentraciones del lactato sanguíneo, ya que el metabolismo del lactato del músculo y su paso de la sangre hacia otros tejidos que activan el músculo pueden impedir la posibilidad de tener una simple relación entre el lactato muscular y el lactato sanguíneo.

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL UMBRAL DE LACTATO

El rol de la circulación en la medición de lactato es de gran importancia, ya que este influye en la determinación del umbral anaeróbico por medio del análisis de concentraciones de lactato sanguíneo, según el área donde se aplique el muestreo. En este contexto se mostró que el lactato venoso durante el mismo tipo de actividad específica rastreando su infusión en la arteria, difiere del lactato arterial durante una actividad específica, rastreando su infusión en el sistema venoso. Ambos experimentos se ejecutaron en conejos cateterizados para comparar la infusión en el ventrículo izquierdo (V Z), con la infusión de lactato en la vena femoral (V F). La sangre fue muestreada de la arteria femoral (A F) y el ventrículo derecho (V D), durante ambos modos de infusión. El promedio de lactato medido en una actividad específica para cada combinación (sitio de infusión y muestreo) fue (VF, AF) $4.380+452$, (VF, VD) $4.370+471$, (VZ, AF) $4.364+239,4$ (VZ, VD) $3.325+240$ en unidades mol. La curva de lactato calculada en la actividad específica en (VZ, VD) fue significativamente menor que las otras tres combinaciones ($P < 0.001$). Esto demuestra que los modelos de la curva de lactato son discutidos mostrando que los modelos análogos de tomas de infusión para medir la curva de las moléculas de lactato, que pasan a través del ciclo de la circulación hay que utilizarlos con cierta precaución. El estimar la curva de lactato

en un punto más que el rango de curva total del organismo, se debe al entendimiento de que parte de lactato producido es metabolizado localmente cuando entra a la circulación general (Smith, 1997; Sinder, 1991).

Otro factor es la temperatura aunque aún faltan investigaciones, al respecto se sabe que ésta influye en la determinación del (UALs) y (UALm), ya que en ambientes fríos se reducen las concentraciones de (ADP), (AMP), creatina, glucógeno, pirovato y lactato consecuentemente. La influencia de la temperatura externa es dramática en los parámetros biomecánicos; al alterarse la temperatura puede también verse afectado el flujo sanguíneo entre el músculo y la piel, agregando que muchos de los receptores de temperatura ubicados en la corteza y en la piel al cambiar la temperatura se afecta la contracción muscular y por ende la aparición de los citados umbrales (William, 1991).

Con relación al síndrome de Mc Ardle, la liberación de (O₂) por parte de la hemoglobina no es facilitada, y la diferencia arterio-venosa de (O₂) a niveles de máximo trabajo es patológicamente pequeña (1/3 de lo normal). El síndrome de Mc Ardle es un modelo de un defecto en el mecanismo de facilitación de la extracción de (O₂) por la acidosis láctica. Estos pacientes se caracterizan por sufrir limitaciones en el ejercicio debidos a dolores musculares y por deficiencia en la forilización muscular sufridas a un 40-50% (VO₂ máx) (Karlman, 1994; Brooks, 1988).

Esta poca extracción de (O₂) se traduce en una capacidad de trabajo reducida. Por falta de lactato falla la (PO₂) capilar y baja el consumo máximo de (O₂), ya que en síntesis la acidosis láctica es esencial para esfuerzos por sobre el (UAN). Debido a que el (H) producido localmente con el lactato en condiciones de flujo de (O₂) inadecuado a los tejidos mejora la (PO₂) capilar y facilita la difusión de (O₂) a la mitocondria. Esto sirve para retroalimentar las necesidades de (O₂)

e hipoxia tisular, cuando hay desbalance entre requerimientos y la provisión del (VO₂) (Wasserman, 1991).

4 UMBRAL VENTILATORIO

La utilización de (O₂) por parte de la célula es el mayor mecanismo celular para la conversión de energía; el momento en que el aire ingresa y sale del sistema pulmonar es llamado respiración externa y el paso de los gases útiles para el organismo hacia el torrente sanguíneo se llama respiración interna. Cuatro propósitos específicos son complementados por la respiración: (1) el cambio de (O₂), (2) el intercambio de (CO₂), (3) el control de la acidez sanguínea y (4) la comunicación oral. En general la respiración es esencial en los procesos bioenergéticos para la vida celular, ya que por medio de estos gases (O₂) y (CO₂), los cuales son intercambiados entre la atmósfera y la sangre en los alveólos de los pulmones; los procesos de ventilación resultan de una mayor presión parcial de (O₂) en los pulmones más que en los tejidos o en los vasos sanguíneos que drenan esos tejidos. Para cargar, la presión alveolar de (O₂) debe estar cerca de los 105 mmhg, lo que se traduce en una presión positiva, gradiente que mueve el (O₂) desde el alveolo hacia dentro de la sangre, circulando por todo el cuerpo para ser utilizado por el metabolismo de los tejidos (Brooks, 1984; Karlman, 1994).

La respiración es usualmente controlada por un nivel consciente, pero algunas veces no puede ser conscientemente modificado el patrón de la respiración. Lo que sucede por ejemplo con la nadadora, quien coordina la respiración con un mecanismo de salida incompleto. Con la práctica, patrones de respiración complejos pueden ser aprendidos e integrados en forma precisa

dentro de la ejecución motora, lo cual empieza a automatizarse y hacerse inconsciente (Yagesh, 1997).

El movimiento del aire dentro del sistema pulmonar (inhalación) y el movimiento de expulsión del aire inhalado (expiración) es regulado mediante dos caminos básicos por la frecuencia en la respiración y por la cantidad (volumen) del aire expulsado. El rango de ventilación pulmonar es usualmente medido como el volumen expirado por minuto (VE), o volumen inspirado por minuto (VI), y el volumen pulmonar minuto es igual al producto de la frecuencia de la respiración durante un minuto (F) y el promedio del volumen de aire movido en cada ventilación (VT), (Tidal volumen) $(V_e) = (F) / (VT)$ (González, 1992; Mishchenko, 1995).

En segundos después de una inhalación, la presión parcial del (O₂), en el alvéolo comienza a disminuir por debajo de lo óptimo, y la presión parcial de (CO₂) comienza a aumentar. Entre el alvéolo y los eritrocitos (hemo globina) la distancia de difusión del (O₂) en la sangre que recorre las paredes alveolares es relativamente corta. Esto es necesario porque la solubilidad del (O₂) en el agua corporal a 37°C es baja, sólo 0.3 ml/O₂ por dL de sangre. Pero los eritrocitos contienen el hemo-hierro componente de la hemoglobina, el cual puede cargar (O₂), en gran cantidad de acuerdo a la presión parcial. Cuando hay presión parcial de (O₂) de 100 mm Hg, como la de los capilares alveolares, esta es saturada casi en un 100% con (O₂) y sólo un pequeño porcentaje de sangre que pasa por los pulmones y a través de los capilares no es ventilado, la concentración de (O₂) en la sangre saturada que retorna del lado izquierdo del corazón hacia los pulmones es casi de un 96% (Brooks, 1984; Walsh, 1988).

Durante el reposo, el consumo de (O₂) podría ser mucho menor que la capacidad de transporte, porque la mezcla de sangre venosa que se forma al lado derecho del corazón contiene cantidades sustanciales de este componente. Durante un ejercicio máximo, el actual consumo de

(O₂) podría sobrepasar los límites de la capacidad de transporte del mismo, esto es porque mucho del (O₂) presente en la sangre arterial es removido durante cada paso de la circulación (Brooks, 1984).

Existen una serie de otros factores aparte, de la presión parcial del (O₂), que afectan su transporte, como es la combinación de este con la hemoglobina temperatura, (PH), y concentraciones de 2,3 difosfoglicératos. Por ejemplo, los efectos de una elevada temperatura y (bajo pH) disminuyen la curva de disociación de (O₂), al igual que durante el ejercicio para ello se compensa mediante el efecto de (Bohr) el cual facilita la descarga de (O₂) desde la hemoglobina de la sangre hacia los músculos activos mediante la disminución de la concentración de (O₂) en los músculos menos activos. Por su parte las enzimas glicolíticas, al igual que los eritrocitos poseen la enzima difosfoglicerasa, encargada de catalizar la formación de (2,3DP6). Los niveles de dicho componente son elevados durante el ejercicio particularmente durante el ejercicio en altitud para facilitar la obtención de (O₂) (Karlman, 1994; Mishchenko, 1995 y Walsh, 1988).

Con relación al transporte de (CO₂), los eritrocitos contenidos en las células rojas tienen la enzima carbónica-anidrasa, cuya función es crucial para su transporte por medio de la sangre. Debido a que este elemento es un producto de la respiración celular, debe ser desechado y cuantitativamente el problema de su movilización desde las células hasta los pulmones radica en una mejora en el transporte de (O₂) desde los pulmones a las células del cuerpo. Tomando en cuenta que la formación celular y acumulación de (CO₂) trae por consecuencia su difusión fuera de la célula hacia la sangre, y después en forma gaseosa vía pulmón. Relativamente el (CO₂) es más soluble en el estado líquido de la sangre, sin embargo, sólo cerca del 5 al 7%, es cargado en forma disuelta. Una vez disuelto en el plasma, dentro de las células rojas, reacciona con el agua en los eritrocitos formando ácido carbónico, en los glóbulos rojos esta reacción es catalizada por lo que el

ácido carbónico es formado de la interacción física del (CO₂) y el (H₂O) (Brooks, 1988; William, 1991).

Cerca del 70% del total de (CO₂) es transportado desde los tejidos a los pulmones en forma de Ion bicarbonato (HCO₃). Dándose la formación del ion (H) como resultado de la disociación del ácido carbónico, este reacciona rápidamente con una reducción de hemoglobina (hemoglobina que ha disociado el O₂ molecular). Mostrándose un interesante convenio entre el (O₂) y el (H) dentro de la hemoglobina, donde siempre cambian uno a uno de (H) para (O₂) y viceversa. La hemoglobina por su parte, se comporta como un fuerte amortiguador que puede tomar todo el (H) formado como resultado del transporte de (CO₂). Cuando la (PO₂) es baja (en la hemoglobina se disocia el O₂), el contenido de (CO₂) sanguíneo dependerá de la (PCO₂). Al igual que la combinación de (O₂) con la hemoglobina puede ser expresada como una función de la (PO₂) y el contenido de (CO₂) de la sangre puede ser descrito como una función de la (PCO₂) (Garnier, 1996; Mishchenko, 1995).

Por medio del efecto de Bohr, la presión del (CO₂) y (H⁺) puede liberar y unir el (O₂) con la hemoglobina, el oxígeno puede también actuar desplazando el (CO₂) y el (H⁺) desde la hemoglobina esto es lo contrario al efecto de (Bohr) y es denominado el efecto de Haldane, el cual da como resultado que el (O₂) de la hemoglobina sea disasociado en iones hidrógeno así la hemoglobina comienza a ser afectada por una fuerte acidez y el incremento de la acidez en los eritrocitos y en el plasma aumenta la (PO₂) en los capilares alveolares, cuando la sangre venosa entra en el capilar alveolar, la (PCO₂) disminuye y (PO₂) aumenta (Karlman, 1994; William, 1991).

La ventilación ejerce su influencia sobre el (PH) sanguíneo, el cual es regulado durante períodos de transición metabólica, como sucede durante el ejercicio, esto mediante cambios del

contenido del (CO₂) de la sangre ya que el contenido de (CO₂) arterial tiene una relación inversa con el volumen pulmonar por minuto; una disminución de respiración causa una acumulación del mismo; y por ende, un aumento en la respiración hace que el (CO₂) deba ser eliminado de la sangre, agregando que un ácido metabólico como el ácido láctico, causa que la (PaCO₂) disminuya, durante un ejercicio fuerte, y la entrada de (CO₂) dentro de la sangre venosa causa un incremento en la (PaCO₂). Estos cambios provocan que el (CO₂) se mueva desde la sangre al alvéolo y pueda ser expirado (Mishchenko, 1995, Wasserman, 1991).

Durante un ejercicio de alta intensidad, la producción de ácido metabólico incrementa, particularmente el de ácido láctico, la entrada de éste dentro de la sangre podría causar una larga caída en el (PH), si no es por el amortiguador bicarbonato y la regulación del sistema ventilatorio debido a que la acción del sistema de bicarbonato es amortiguar el ácido láctico, el cual aumenta la cantidad del (CO₂ metabólico) en el sistema cuyo volumen puede ser eliminado de la sangre a través de los pulmones (Karlman, 1994; William, 1991 y Brooks, 1988).

El comportamiento de los cambios anteriores ha sido estudiado con la finalidad de poder entender dichos parámetros y así mejorar la forma de medirlos como lo demuestran estudios como los de Wasserman y colaboradores (1991), quienes compararon los modelos de umbral y el exponencial continuo, encontrando pruebas claras de la existencia de un umbral que puede ser localizado mediante el análisis de la transformación del (O₂). La prueba principal de este umbral reside en los patrones sistemáticos que presentan las desviaciones de los puntos experimentales con respecto a los modelos. El modelo de umbral se ajusta bien a los datos en la zona superior al umbral, incluyendo la región próxima al mismo, hasta el 80-90% del (VO₂ máx). El patrón de desviaciones del modelo continuo también sugiere la existencia de un umbral, ya que las desviaciones de los datos son predominantemente negativas hacia el (UAL) esperado, es decir,

aproximadamente al 50% del (VO_2 máx). Cualquier ventaja aparente del modelo continuo se deriva solamente de un análisis estadístico unidimensional, debido a los pocos puntos experimentales (valores más altos). Cabe destacar que a pesar de las controversias existentes en cuanto a la existencia del umbral anaeróbico, los estudios con parámetros ventilatorios indican y respaldan su existencia ya que el patrón de cambio en el bicarbonato (HCO_3) arterial y el intercambio gaseoso pulmonar así lo demuestran (Mohon, 1997; Wasserman, 1991 y Walsh, 1991).

Por lo anterior es que se ha implementado la utilización de aquellas pruebas, donde imperan criterios indirectos para determinar este punto como son los basados en los síntomas que revelan el comienzo de compensación respiratoria de la acidosis metabólica, en donde se da una elevación del (VCO_2), y una disminución del (VO_2) (Yagesh, 1997).

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL UMBRAL VENTILATORIO

El patrón de intercambio gaseoso se ve afectado por una serie de factores, entre ellos, la acumulación de lactato durante el ejercicio, el cual afecta el transporte de (O_2) hacia las mitocondrias, la edad conforme esta aumenta la (FC) que indica que el umbral anaeróbico va disminuyendo también ejerce una fuerte influencia la dieta, por el agotamiento de las reservas de glucógeno en el organismo a consecuencia de actividades agotadoras. Considerando que los cambios dietéticos y los esfuerzos agotadores durante los entrenamientos afectan la localización del umbral anaeróbico (UAV) o (UAL). Otros aspectos a considerar son la masa corporal, tipo de ejercicio y velocidad de movimiento (Wasserman, 1991; Mishchenko, 1995 y Brooks, 1988).

Debido a la dependencia entre el umbral ventilatorio y la actividad pulmonar, éste se ve afectado por los cambios de temperatura lo que influye en los receptores pulmonares. Se ha observado que un incremento en la temperatura corporal de un grado, incrementa la respuesta pulmonar cambiando el (VT) volumen tidal, a su vez, observándose efectos en el sodio, en la infusión de lactato, lo cual afecta el volumen expiratorio (VE), influyendo en la determinación del (UAV), aunque no en forma dramática (Bongbele, 1990; Boulay 1997 y Walsh, 1988).

No obstante hay mecanismos que influyen en el control de la respiración durante el ejercicio, por ejemplo la ventilación está unida al rango metabólico, lo cual se refleja en la corteza cerebral que afecta los centros de respiración en el cerebro, ajustando la frecuencia y la profundidad de la respiración mediante la actividad hormonal. Esos mecanismos neurales operan ajustándose rápidamente ya que tienen a cargo el control de la respiración durante el ejercicio, el afinamiento entre la respiración y la intensidad del ejercicio depende de la señal neuronal y de los niveles metabólicos que llegan al cerebro, ya que los cuerpos carótidos y aórticos son sensitivos a la presión parcial del (O_2), y a las concentraciones del ion hidrógeno (H^+). El dióxido de carbono por su parte al aumentar en la sangre afecta el fluido espinal hacia el cerebro, lo cual influyen en los centros respiratorios ubicados en el mismo, los cuales envían información a los receptores en los músculos que son sensitivos al movimiento y a la transmisión de señales del cerebro. Cabe mencionar que los controles periféricos de la respiración, dos factores parecen ser los más importantes el: (PH) de la sangre arterial que es afectada por los niveles de lactato sanguíneo, y el riego (flúor) venoso del (CO_2) a los pulmones (Binder, 1991; Brooks, 1988).

RELACION ENTRE EL UMBRAL DE LACTATO Y VENTILATORIO

Existe la incertidumbre sobre el punto de flexión del ácido láctico sanguíneo, ventilatorio y si éstos coinciden en su aparición. El modelo fisiológico que explica la existencia del (UAN) parte de lo siguiente, conforme la intensidad del ejercicio incrementa, una serie de factores podrían operar e influir en el cambio de los niveles de lactato sanguíneo ya, que estas concentraciones de lactato dependen de la entrada y la salida del mismo en la sangre, y hay muchos factores que afectan este proceso (Mohon, 1997; Beneke 1996).

Sin embargo, podría ser un componente neuroendocrino el que explique la diferencia entre el punto de flexión de lactato y el ventilatorio, ya que conforme la dificultad de un ejercicio incrementa, las señales de los nervios eferentes de (CNS) incrementan en su frecuencia y amplitud. Esto activa las respuestas a los mecanismos endocrinos, dando como resultado una estimulación en los nervios del sistema autónomo simpático, el que se comunica con el resto del organismo a través del cauce circulatorio (incluyendo músculos, hígado, riñón, tejido adiposo y glándulas renales). El neurotransmisor transmitido por el nervio simpático es la norepinefrina, también causante de la vasoconstricción local en las arteriolas, incrementando la resistencia del flujo sanguíneo en esas áreas; estas contracciones musculares permiten una mayor salida cardiaca aumentando el flujo sanguíneo a las áreas activas, y por consecuencia, la extracción y distribución del lactato sanguíneo a las áreas donde pueda ser metabolizado, lo cual sucede antes de que se ha afectado la regulación ventilatoria (Yagesh, 1997; Scheider, 1993).

No obstante el metabolismo, la producción de (CO₂) y la formación de lactato son conjuntamente relacionados, ya que el flujo de (CO₂), hacia los pulmones está altamente

correlacionados con la ventilación pulmonar minuto. Si hay disturbios en el (PH) sanguíneo, como son reducción de la glicólisis y producción de lactato, disminución del glucógeno o síndrome Mc Ardles, o si los agentes de acidificación o alcalinización son ingeridos, el flujo del (CO₂) a los pulmones y el (PH) arterial podrían ser afectados lo mismo que las relaciones entre ellos y la ventilación pulmonar. En este caso la ventilación podría continuar siendo de mayor importancia en la relación con el rango metabólico porque los controles neurolares de la ventilación son de primera importancia, y quizás los factores periféricos son de segunda importancia (Wasserman, 1991).

Sin embargo, aclara Wasserman (1991) que para relacionar el (UALS) con el (UAV), hay que tomar en cuenta lo siguiente. Cuando comienza el ejercicio, el (O₂) es frecuentemente restaurado en las células si este es muy difícil, se produce el buffer de bicarbonato sanguíneo, o sistema amortiguador del ácido láctico dándose un extra de (CO₂) metabólico como producto, esto se da ya que el ácido láctico (LA) es un ácido fuerte cuyos niveles en el músculo y en la sangre incrementan durante la contracción muscular y es por ello que el cuerpo posee un sistema químico o buffer, llamado bicarbonato (HCO₃) y ácido carbónico, mecanismos con los cuales los efectos del ácido láctico son neutralizados, al suceder esto se produce un aumento de (CO₂) y este es eliminado a través de los pulmones, lo que aparece o se detecta en la expiración.

A nivel metabólico cuando el oxígeno no es limitado, el (ATP) requerido por el trabajo muscular es producido aeróbicamente, pero si el rango de trabajo físico incrementa alcanzando cierta intensidad, las unidades motoras adicionales requerirán para su mantenimiento un alto poder de salida, por lo cual, el rango de la demanda de oxígeno es ahora considerado un rango excedente que trata de suplir oxígeno conforme aumenta el incremento metabólico (Cuesta, 1991).

La aparición del (UV) es causada en consecuencia por un inadecuado transporte de oxígeno, el cual estimula el metabolismo anaeróbico obteniendo como resultado la producción de ácido láctico. Cabe destacar que el ácido láctico es amortiguado por el sistema de producción de bicarbonato, mientras que el (CO₂) adicional producido y la estimulación de la acidosis metabólica causada por el ejercicio incrementan el (VCO₂) (Karlman, 1994).

Wasserman (1991) y Walsh, (1988), en relación con lo anterior agregan que, aunque en la membrana celular se de una hiperemia máxima, puede darse el metabolismo anaeróbico al producirse una salida neta de lactato desde el músculo en ejercicio al flujo sanguíneo, si la vasodilatación es máxima, la presión de oxígeno (PO₂) capilar debe aumentar al igual que el flujo de masa de (O₂) requerido por las mitocondrias para la producción de energía necesaria, pudiendo así hacerle frente a los incrementos de trabajo; por lo tanto, la anaerobiosis sólo puede ocurrir mediante el incremento del flujo sanguíneo y si la (PO₂) capilar no aumenta proporcionalmente al incremento de la necesidad de (O₂).

Walsh, (1988) considera que a pesar de que el flujo sanguíneo muscular en atletas y sedentarios es igual en actividades físicas leves que no lleguen al máximo de intensidad soportable, en los primeros individuos el entrenamiento los ha llevado a reducir el incremento de lactato sin alterar el flujo sanguíneo, lo cual no quiere decir que el aumento de lactato no tenga que ver con la liberación de (O₂), ya que el flujo sanguíneo muscular determina la (PO₂) capilar y la presión con que se conduce el (O₂) de los capilares a las mitocondrias. Por lo que las diferencias ideales en las presiones parciales para prevenir la anaerobiosis dependen del consumo de (O₂) por parte de los grupos musculares y la existencia de un mayor número de mitocondrias por unidad de volumen muscular, lo que permite que la distancia de difusión sea menor, reduciendo las posibilidades de que se produzca anaerobiosis por una diferencia dada de (PO₂) entre el capilar y la mitocondria.

En resumen, el consumo de (O₂) y el flujo sanguíneo durante el ejercicio se encuentran en una relación relativamente fija, independiente de la capacidad física del sujeto, ya que ambos fenómenos son interdependientes, si con el entrenamiento la densidad mitocondrial aumenta, para una carga de trabajo, el (O₂) consumido será el mismo, pero la presión motriz no deberá ser tan grande para satisfacer las necesidades de (O₂).

Otros autores indican que la creencia en la relación lactato sanguíneo deuda de oxígeno no es válida ya que la mayoría de lactato presente cuando se comienza a recuperar podría ser oxidado. El lactato meramente sirve para suplir como fuente de energía en los procesos de recuperación, la combustión del ácido láctico no requiere de un extra de consumo de (O₂). El lactato es convertido en pirovato, y este tiene un efecto de sustituto energético para generar (ATP) ya que los niveles de glucosa o glucógeno podrían ser bajos después de un ejercicio prolongado o difícil. Sin embargo, se enfatiza en la asociación entre el lactato y la ventilación pulmonar porque el lactato es el recurso de los iones hidrógenos generados durante el ejercicio (Wasserman, 1991 y Brooks, 1988).

La diferencia entre el umbral del lactato sanguíneo y el umbral ventilatorio radica en el tiempo de aparición se ha demostrado que en hombres sedentarios el umbral ventilatorio ocurre al (52% VO₂ máx), mientras que el umbral del lactato sanguíneo ocurre al (62% VO₂ máx), en hombres entrenados el inicio del umbral ventilatorio se da a un (66% VO₂ máx), aproximadamente no difiere tanto del umbral del lactato sanguíneo que se determinó al (69% VO₂ máx). Algunos experimentos muestran controversias indicando que el umbral ventilatorio ocurre antes del umbral del lactato, mientras que otros indican lo contrario. Debido a algunas de estas confrontaciones se ha tratado de diferenciar y ver por separado los términos del umbral ventilatorio y umbral de lactato sanguíneo (Boulay, 1997; Fox, 1992).

Por su parte Walsh (1988), hace referencia al término umbral ventilatorio exclusivamente cuando se usan parámetros ventilatorios para su determinación. Por ello el umbral anaeróbico se puede obtener por métodos de intercambio gaseoso, midiendo la salida del (VCO_2) y el ingreso de (VO_2); a medida que aumenta el ritmo de trabajo estos vectores pierden su relación lineal lo que se conoce con el nombre de "análisis de la pendiente Ventilatoria" (V-slope); y el punto de inflexión de la curva resultante en esta gráfica refleja el freno necesario por parte del (HCO_3) debido al incremento de la producción de ácido láctico (González, 1992).

Aunque hay evidencia de que la estimulación dada por una actividad física afecta diferentes procesos fisiológicos como son los umbrales, Walsh, 1988, aclara que hay una disociación entre el (UALs) y (UAV), especialmente en el momento de su aparición y el efecto que ejerce el entrenamiento sobre los mismos. Como se muestra en un estudio donde los sujetos entrenaron por tres semanas a una intensidad alta, luego fueron evaluados mostrándose que las concentraciones de lactato sanguíneo disminuyeron y no varió el umbral ventilatorio, durante la evaluación ambos parámetros incrementaron al inicio pero al llegar a una intensidad alta el comportamiento entre los umbrales difiere mostrando una correlación no significativa ($r = 0.13$) entre el tiempo de aparición de las dos variables.

En otro estudio se llegó a la conclusión de que en hombres jóvenes adultos, al muestrearles el (UALm) ocurrió antes de que apareciera (UALs) y de último apareció el (UAV), además se mostró que el (UAL) y el (UAV) se comportan de forma similar durante una carga constante en el ciclo ergómetro, pero durante el incremento de las cargas (UAV) precede al (UAL), aclarando que el incremento en la frecuencia de pedaleo fue de 50 a 90 rpm, disminuyendo el rango de trabajo en el cual el (UALs) aparecía, pero no hubo alteraciones con respecto al rango de trabajo con el cual hizo su aparición el (UAV) (Walsh, 1988).

Otra evidencia fuerte que insta a disociar el (UALs) del (UAV) es la enfermedad de McArdle, que se caracteriza en quienes la sufren por un faltante de fosforilasa, que conlleva la no-producción de lactato. Durante el incremento en una actividad física estos sujetos muestran un (UAV), pero no muestran ningún cambio en las concentraciones de lactato sanguíneo. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que su capacidad de absorción de (O₂) celular y transporte de (CO₂) es muy deficiente, por lo que su capacidad aeróbica no les permite llegar a intensidades que sobrepasen el 40% del (VO₂ máx), y los umbrales aparecen a partir de un 50% del (VO₂ máx) en un individuo sano; además la capacidad de resistencia aeróbica en dichos sujetos durante una actividad física no es normal, por lo que la obtención o medición de sus umbrales no es lo más fiable (Karlman, 1994).

Sin embargo, la propuesta inicial con la cual se relaciona el (UALs) y el (UAV) era que un incremento en el (PH) sanguíneo incrementaba el flujo de lactato muscular y que durante un ejercicio la hiperventilación incrementaba las concentraciones de lactato sanguíneo, ya que la ventilación induce a incrementar el (PH) en sangre (Walsh, 1988).

La existencia de una diferencia entre los anteriores estudios que han mostrado correlaciones entre el comportamiento del (LAs) y la ventilación pulmonar, se da principalmente en el momento en que se detectan los umbrales, algunos indican que el (UAV) ocurre antes del (UALs) otros señalan lo contrario, lo que muestra muchas incongruencias en la experimentación en dicho campo (González, 1992; Walsh, 1988 y Pinto, 1981).

PRUEBAS PARA DETERMINAR EL UMBRAL ANAEROBICO

Actualmente, el concepto más moderno de la valoración funcional es el que considera que sólo puede evaluarse la adaptación funcional del organismo a la actividad física, si el gesto atlético

se reproduce de forma específica (pruebas de laboratorio), o si el gesto se obtiene directamente en el campo deportivo (pruebas de campo) (González, 1992).

Las pruebas de laboratorio son mediciones hechas en un ambiente controlado, utilizando equipos y protocolos que simulan con mayor o menor validez, fiabilidad y especificidad los gestos propios de la actividad física o deportiva a evaluar. Al contrario, las pruebas de campo registran parámetros fisiológicos y funcionales durante el esfuerzo, en el mismo terreno deportivo. El objetivo de ambos métodos es obtener información sobre la capacidad física de los sujetos y las adaptaciones funcionales. En general, puede decirse que las pruebas de laboratorio tienden a ser más fiables y precisas, ya que suelen garantizar la constancia de algunas variables que pueden influir en el resultado de las distintas mediciones- temperatura, humedad, intensidad y dirección del viento, ambiente tranquilo etc. Además de permitir mediciones con aparatos más sofisticados, como los ergómetros que miden con precisión el trabajo y la potencia mecánica (Yagesh, 1997).

Las pruebas de campo suelen ser más específicas, por cuanto permiten la realización de la actividad en el medio en que se desarrolla normalmente, con sus características temporales y de intensidad propias, duración de la prueba, intensidad libre de limitaciones impuestas por el ergómetro y sobre todo con sus características biomecánicas, aventajando en este punto a las de laboratorio, ya que existen gestos deportivos no reproducibles en el ergómetro. El caso más típico lo encontramos en las diferencias cinéticas y mecánicas que existen entre la marcha y la carrera sobre cinta rodante y en pista. Las pruebas de campo suelen ser también más económicas en cuanto a necesidades de personal, material y tiempo. En cuanto a la determinación umbral anaeróbico, son dos los principales métodos utilizados actualmente: el método metabólico (tomas de sangre) y el método respiratorio. Otras técnicas utilizan sistemas más simples, como el déficit de pulso, una tasa máxima de reconstitución energética en trabajos ergométricos sucesivos y la

estimación del umbral anaeróbico por el análisis electrónico-gráfico durante el ejercicio progresivo (Janssen, 1989; Ribeiro, 1981).

Con base en Mishchenko (1995), los métodos para medir el umbral anaeróbico pueden ser divididos en invasivos o directos, con tomas de sangre para determinar las concentraciones de lactato o, indirectos no invasivos, que utilizan índices de la respiración externa, como el intercambio gaseoso, la frecuencia cardiaca y algunos otros índices funcionales.

PRUEBAS INDIRECTAS

Actualmente, para determinar el umbral anaeróbico se utilizan ampliamente los índices indirectos. Los más difundidos de ellos son los basados en cambios observados en la ventilación pulmonar y la (FC). El método más utilizado por su precisión es el denominado estudio de la Pendiente Ventilatoria Simple (V- slope), empleado para determinar el primer punto de separación de la linealidad de la salida de dióxido de carbono (VCO_2) en relación con la entrada de oxígeno (VO_2), lo cual ocurre en el individuo al acercarse al 45% de su (VO_2 máx) utilizando como método para obtener los resultados un programa dirigido por un computador (Scheider, 1993; Mishchenko, 1995).

PRUEBAS INDIRECTAS DE CAMPO

Como su nombre lo indica las pruebas de campo son aquellas que consisten en el registro de parámetros fisiológicos y funcionales directamente en el terreno deportivo, para la obtención de información sobre la capacidad funcional del deportista. En esta área se pueden realizar distintas aplicaciones, entre ellas las directas o invasivas como son el muestreo de lactato, también pueden realizarse pruebas indirectas en función de los cambios en la velocidad de desplazamiento con

relación a la (FC), como es la prueba denominada Conconi. Ambos métodos han sido utilizados para el estudio de los fenómenos de transición metabólica, específicamente en el umbral anaeróbico, las posibilidades de los métodos de campo son bastante amplias y poco investigadas, la aplicación principal de éstas radica en el control de la intensidad del entrenamiento por lo que el objetivo fundamental de las mediciones al aire libre es obtener información sobre el umbral anaeróbico en las condiciones de una mayor aproximación a las del entrenamiento deportivo (Mishchenko, 1995; González, 1992 ; Janssen, 1989).

Las ventajas de la obtención del límite anaeróbico en condiciones naturales de entrenamiento deportivo (a cielo abierto) son principalmente que el gesto deportivo es más real, ya que en este caso se nivela la mayoría de los factores tanto los conocidos, como los aún poco claros que pueden alterar la objetividad de los resultados, son más sencillas de aplicar y de reproducir (Mishchenko, 1995).

Dentro de las principales desventajas de las pruebas de campo están, la vulnerabilidad a las condiciones climatológicas, la variabilidad en los terrenos de aplicación, lo cual puede impedir el poder comparar datos de una región con otra, y los factores externos dentro de los que figuran, ambientes que no propician la concentración y la privacidad en el momento de aplicación de una prueba (Ribeiro, 1981; Prat, 1986).

PRUEBAS INDIRECTAS DE LABORATORIO

En su mayoría, los métodos de laboratorio para determinar el umbral anaeróbico se diferencian sólo en detalles. Los test o pruebas se realizan con cargas de trabajo que aumentan escalonada y continua, al igual que las pruebas indirectas de campo, se obtiene el (UA) a partir de

parámetros como (FC) o cambios ventilatorios. Algunas pruebas, como por ejemplo en 1 min de ergómetro, la velocidad de incremento de la carga puede variar ampliamente, dentro de los límites de 8 a 30 Watts, mientras que en el test de 1 min de carrera, esa variación estará entre los límites de 0,1 a 0,3 m/seg, la duración de las etapas en el test escalonado varía de 30s, a 4 min (Mishchenko, 1995).

En el caso de someterse corredores a una prueba escalonada, se aplica un incremento de velocidad de 0,2 o 0,1 m/seg por cada variante, ya que la variante escalonada, con menor incremento de la velocidad, permite elevar la exactitud de las mediciones del (UA), pero es posible únicamente si son conocidos los límites del intervalo de cargas, cosa indispensable para el test. Para disminuir sensaciones inusuales y aproximar al máximo la estructura de la carrera a la natural, se recomienda efectuar antes del test un calentamiento estándar, así el corredor se adaptará a la banda rodante (Weyand, 1994; Ribeiro, 1981).

Los parámetros óptimos de las pruebas con carga creciente son en ergómetros. La potencia inicial de 15 Watts, el incremento es de 8-30 Watts/min, y depende de la preparación de los deportistas, para banda rodante horizontal la velocidad inicial (1,5-2,6 m/seg) y debe provocar una respuesta de la (FC) que se ubique entre 100 y 125 lat/min. El incremento de la velocidad será de 0,1-0,2 m/seg. Por lo que la carga debe escogerse de tal manera que, la potencia de umbral se alcance a los 10-12 min y la disminución de la capacidad al trabajo se produzca no antes de 15-20 min, además la duración de los períodos es de 30-60 seg (Scheider, 1993).

Apoyando la existencia del umbral ventilatorio y partiendo de principios fisiológicos que interrelacionan la acidosis y su compensación respiratoria, se ha propuesto un test ergométrico de tipo triangular; con incremento de carga equivalente a un (Met) en cada minuto, de un trabajo

realizado en la banda rodante, hasta observar los cambios en el comportamiento de cada una de las variables ventilatorias (Ribeiro, 1981; Binder, 1994).

En un estudio dirigido a determinar las diferencias en la medición del umbral anaeróbico mediante diferentes ergómetros y en un mismo individuo. Davis y sus colaboradores (1979) no encontraron diferencias significativas entre el cicloergómetro y la cinta rodante. Sin embargo, determinaron que mediante el cicloergómetro accionado con los miembros superiores se subestima el umbral anaeróbico, no descubriendo diferencias significativas en el umbral anaeróbico en individuos que pedaleaban con una pierna o con las dos, lo que generó la hipótesis de que la cantidad de masa muscular involucrada, no influye en la localización del (UALs) y que los resultados encontrados con relación al ciclo ergómetro sean tal vez por un deficiente entrenamiento de las áreas musculares involucradas (Ribeiro, 1981).

Por su parte Pinto (1981), menciona a Bachl y sus colaboradores quienes estudiaron 3 tipos distintos de protocolos, para determinar el umbral anaeróbico, concluyeron que el método respiratorio si es utilizado con un incremento de 20 watts por minuto o cada 2 minutos, da los mismos resultados que el método metabólico (UALs), a nivel de 4 mmol/L en un protocolo de tipo rectangular con un incremento de 50 watts cada 5 minutos .

González (1992) y Yages (1997), especifican que los sistemas ergoespirométricos, para analizar la ventilación y el intercambio de gases respiratorios durante el ejercicio, pueden ser abiertos o cerrados. En los sistemas cerrados, el deportista está conectado a una campana espirométrica de donde inspira aire de composición, conocida el cual al final de la prueba es analizado. A diferencia de los sistemas abiertos, donde el aire inspirado por el deportista, es el aire ambiente y sus variaciones se analizan en el transcurso de la prueba. Una ventaja del sistema cerrado es que presenta menos resistencia que los sistemas abiertos, pero su material es muy rígido

e incómodo para el deportista; sin embargo, por medio de éste se permiten estudios con diferentes concentraciones de oxígeno, pero no el análisis continuo e inmediato del intercambio gaseoso. Se aclara que de las ventajas de un sistema resultan los inconvenientes del otro, pero sin ninguna duda, durante la valoración rutinaria del deportista, son preferibles los sistemas abiertos, por ser de material más ligero y confortable para el deportista, permitiendo un análisis continuo y automatizado de los cambios en la respiración, tanto en su cantidad como en su composición, a intervalos de 15 a 30 segundos.

Mishchenko, (1995) y Mahon, (1997), aclaran que el análisis de gases respiratorios (oxígeno y dióxido de carbono) puede realizarse mediante los siguientes métodos, químicos (analizador de Schlander), físicos basados en las diversas propiedades físicas de los gases del aire como son, la capacidad de conducción térmica por -diaferómetros, el análisis espectrométrico de masa del gas por espectrómetros de masa, la susceptibilidad magnética o sistema paramagnético para el (O₂) y absorción de rayos infrarrojos para el (CO₂).

Existen para lo anterior dos métodos: los cerrados, cuya medida de los volúmenes respiratorios puede hacerse recogiendo el aire espirado en sacos de Douglas para luego ser medidos con espirómetros, gasómetros secos o neumotacógrafos. Sin embargo, hoy en día los sistemas abiertos convencionales son más utilizados y generalmente tienen incorporados neumotacógrafos, con un analizador paramagnético de oxígeno y análisis de dióxido de carbono por infrarrojos. Esta línea de equipos de respiración a respiración "breath by breath" son los que empiezan a imponerse por su mayor velocidad de respuesta, precisión y capacidad de análisis, ya que tiene la capacidad de determinar cambios en los siguientes parámetros: a) la ventilación pulmonar (VE) o volumen respiratorio por minuto (L/min), el volumen corriente (V_t) y la frecuencia respiratoria (FR); (b) el consumo de oxígeno (VO₂) o volumen de oxígeno consumido

en unidad de tiempo(L/min), la fracción espirada de oxígeno (FEO₂) y la presión del oxígeno al final de una espiración (PETO₂), la producción de dióxido de carbono (VCO₂) o volumen de (CO₂) eliminado por unidad de tiempo (L/min), la fracción espirada de dióxido de carbono (FECO₂) o concentración de (CO₂) en el aire espirado y la presión del dióxido de carbono al final de cada espiración (PETCO₂) (González, 1992; Mishchenko, 1995).

González (1992) recomienda que cuando se dispone de ergoespirómetros abiertos de "respiración a respiración" debe tenerse en cuenta que, en las pruebas con cargas superiores a un minuto, los incrementos de la (PETO₂), en el umbral se acompañan de descensos de la (PETCO₂), con protocolos de un minuto. La (PETO₂) aumenta, pero la (PETCO₂) permanece constante (fase de taponamiento isocápnico). Para pruebas ergoespirométricas en las que se utiliza el método ventilatorio, es preferible emplear cargas de un minuto de duración, e incluso se están empezando a utilizar las llamadas pruebas en rampa que mediante el uso de un procesador incorporado al ergómetro, permiten incrementar la carga de forma continua a lo largo de toda la prueba, en un tiempo prefijado y con una potencia máxima estimada.

Se aconseja que las pruebas para determinar el umbral anaeróbico se realicen en un ergómetro que se adecue a la especialidad deportiva, siempre con fases de calentamiento, ejercicio y recuperación. En relación con la intensidad de la carga, ésta puede ser inicialmente de un 30% del (VO₂ máx) y los incrementos de 5% a 8% del (VO₂ máx)(González, 1992).

En la determinación del umbral anaeróbico ventilatorio por medio de métodos de intercambio gaseoso, existen varios mecanismos para su detección según las variables que se utilicen, así se clasifican en: a) Mecanismo I, el método para detectar el (UA), ha sido llamado Análisis de la Pendiente Ventilatoria, ya que compara los volúmenes de (VCO₂) expirado con los del (VO₂) inspirado para su determinación. b) Mecanismo II, a diferencia del anterior que depende

del incremento del (CO_2), producto del amortiguamiento del ácido láctico para detectar el (UA). En éste se agrega un parámetro el (VE), ya que el aumento del (VO_2) permanece relativamente lineal mientras que el (VCO_2) y el (VE) se aceleran paralelamente como consecuencia del control ventilatorio de la (PCO_2) arterial. Por tanto, (VE/VCO_2) disminuye o permanece inalterado, y el (VE/VO_2) aumenta desde la zona inferior de la pendiente o mantiene la pendiente cuando se sobrepasa el (UA), siempre que el control ventilatorio sea normalmente sensible a la regulación de la (PACO_2). Este método es más complejo ya que puede detectar si la presión alveolar del (CO_2) (PETCO_2) es relativamente constante, y si la presión alveolar del (O_2) (PETO_2) aumenta porque el ritmo del (VE) se acelera, dándose una hiperventilación con respecto al (O_2), y no con respecto al (CO_2). En un control respiratorio normal, el (VE) sigue el camino del (VCO_2), y el (VE/VO_2) aumenta sin un incremento simultáneo del (VE/VCO_2). Estas observaciones son indicadores específicos del intercambio gaseoso durante el desarrollo de la acidosis metabólica (Wasserman, 1991; Walsh, 1988).

El método anterior coincide con el método de la pendiente ventilatoria, para la determinación del (UAV) en sujetos con un patrón regular de respiración y sin deficiencias respiratorias. No obstante en estas últimas condiciones, el método de la pendiente del (V-slope) ha mostrado ser más fiable (Yagesh, 1997).

Mecanismo III: por medio de éste se detecta específicamente el cambio brusco en la ventilación, producto de la hiperventilación como respuesta al ejercicio que se refleja en una caída de la (PACO_2) y el incremento en la pendiente del (VE) frente al (VO_2), con pruebas de ejercicio progresivo a incrementos de carga en 1 minuto sobre una banda rodante, el mayor cambio ocurre cerca del verdadero (UAV), donde es influenciado por la compensación respiratoria reflejo de la acidosis metabólica (Wasserman, 1991).

Dentro de las principales ventajas de este tipo de medición están: a) La reproductividad del método respiratorio que depende de la técnica utilizada. Si se trata de la ergoespirometría que recoge muestras con intervalos de 15 segundos. Davis y sus colaboradores (1979) encontraron una variabilidad de 5% a 10%, con un coeficiente de correlación a nivel de 0.74, entre test y retest en el caso de la espiroergometría. Con un equipo que posibilita el análisis de cada respiración, utilizando como indicadores el equivalente respiratorio y la presión en la fase final del volumen corriente, se dio una reproductibilidad mayor, con un coeficiente de correlación entre test y retest de (0.95) (Ribeiro, 1981).

La fiabilidad de los resultados se confirma por la estrecha relación entre la inclinación de la línea de la dependencia y el (VO₂ máx) al alcanzarse el umbral anaeróbico. Seleccionando la intensidad de las cargas de prueba se puede aumentar la especialización de los criterios mencionados, para cada una de las distancias competitivas y evaluar el rendimiento (resistencia) del deportista (Mohon, 1997; Weyand 1994).

En condiciones de laboratorio se pueden precisar los umbrales aeróbico y anaeróbico, empleando no sólo la dependencia de la ventilación pulmonar y la (FC), sino también el coeficiente respiratorio y el exceso de (CO₂) no metabólico, producto de la intensidad de la carga o del consumo de (O₂) (Mishchenko, 1995).

La principal desventaja de estos métodos y sus variaciones es el costo en la aplicación de las pruebas, ya que se requiere de un equipo sofisticado que generalmente no está al alcance del entrenador o el atleta (Ribeiro, 1981).

PRUEBAS DIRECTAS

Desde el punto de vista práctico se ha extendido el uso de un valor de referencia para establecer el (UALs), a partir de la velocidad con que se manifiesta una medición correspondiente de lactato (La), de 4 mmol/L (U4), llamado Umbral Aerobio-Anaerobio (OBLA, "onset of blood lactate accumulation", inicio de la acumulación de lactato a nivel sanguíneo). Otros autores prefieren la determinación del llamado umbral de lactato individual, que suele estar en el intervalo de 2 - 6 mmol/L pero no existe unanimidad respecto al método que debe utilizarse para calcular dicho parámetro (González, 1992).

Existen pruebas directas aplicables al laboratorio y al campo una de las pruebas más seguras de laboratorio que determina el (UALs), es aquella que utiliza como método, la correlación entre el consumo de (O₂) y la concentración de lactato. Otro método es el denominado pruebas de lactacidemia progresiva, (curvas de lactato - velocidad) (Mishchenko, 1995; Binder, 1992).

Para Smith (1997) las pruebas nombradas han sido propuestas para obtener el (UALs) de deportistas en distintas especialidades deportivas como carrera de fondo, natación y ciclismo. Estas se caracterizan por ser progresivas, triangulares y generalmente máximas, en las que se dan períodos de esfuerzo e intensidad constante (de 3-6 minutos de duración), separados de pausas cortas (30 - 60 segundos), para la toma de muestras de sangre capilar y para el análisis de lactato durante la recuperación, además las muestras pueden ser únicas o seriadas y el resultado es una curva lactato-velocidad, en la que se representan gráficamente las concentraciones correspondientes a cada intensidad en función de la velocidad media de desplazamiento, permitiendo la determinación del umbral de lactato.

Una variante de las pruebas anteriores son las que denominamos pruebas de lactacidemia progresivas interválicas, que se diferencian de las anteriores porque en cada carga no se realiza una sola repetición sobre una distancia, sino una serie de varias repeticiones (2-5 reps). El lactato corresponde en ese caso, a un determinado número de repeticiones y a una velocidad media concreta. Este tipo de prueba es especial para evaluar deportistas de especialidades como la natación, cuyo entrenamiento es en gran parte interválico, ya que por medio de éstas se puede reproducir mejor las circunstancias metabólicas reales de los entrenamientos. También son útiles para evitar los posibles errores causados por la aparición del llamado "lactato precoz" o "early lactate", o por la acumulación de lactato producido al inicio de una serie de repeticiones y que es metabolizado al aumentar la tasa metabólica oxidativa en series sucesivas (González, 1992).

Otro tipo de pruebas son las de lactacidemia de doble intensidad. Estas mantienen el mismo principio que la anterior, o sea en la función $(LA) = F(V)$, pero se limitan por criterios de economía y sencillez de la prueba, a determinar la porción lineal de dicha función. Así, en la fase de acumulación rápida del lactato en sangre se miden dos puntos y se determina la función lineal correspondiente, calculándose los valores por intra o extrapolación. El indicador de umbral anaeróbico no sólo es la recta lactato-velocidad sino el valor obtenido de 4 mmol/L de lactato (U_4 = umbral aerobio-anaerobio). Esta prueba fue establecida para la carrera y la natación, pero ha sido aplicada en otras especialidades, tanto en pruebas de campo y de laboratorio (remo, por ejemplo). Las distancias utilizadas suelen estar entre 300 y 2000 metros según la especialidad de la carrera en atletismo y, entre 100 y 400 metros en natación. Las pruebas más corrientes son las de 2 x 600 metros para los corredores de medio fondo, 2 x 2000 metros para los fondistas y 2 x 400 en general para todos los nadadores (prueba específica de resistencia aerobica) (Janssen, 1989).

En el conocimiento de las pruebas de lactacidemia de larga duración (máximo lactato sanguíneo estable), se trabaja con cargas de larga duración (10-30 minutos), para establecer la máxima velocidad sin acumulación de lactato sanguíneo (velocidad máxima en condiciones de lactato estable). La velocidad está relacionada con el rendimiento en pruebas de larga duración se obtiene así el umbral anaerobio o de lactato sanguíneo real, reflejando un proceso metabólico en el cual la intensidad del esfuerzo puede mantenerse a expensas del metabolismo aeróbico, sin que exista una acumulación de lactato por una contribución del metabolismo anaeróbico láctico (Beneke, 1996).

PRUEBAS DIRECTAS DE CAMPO

En el campo propiamente se pueden aplicar un sin número de métodos directos para la obtención del umbral anaeróbico (UAV) y (UALs), ya que las micro-muestras pueden ser obtenidas, mientras el atleta desempeña su modalidad deportiva en el campo de competición (Mahon, 1997).

Como menciona González (1992), hay pruebas basadas en la relación entre lactato sanguíneo (La) y velocidad de desplazamiento aplicables a modalidades como la carrera, nado, marcha, ciclismo, etc; que permiten establecer, no sin algunas dificultades metodológicas, la participación relativa del metabolismo aeróbico y el anaeróbico láctico; sin embargo se ha desarrollado una amplia gama de pruebas específicas para diferentes modalidades deportivas siguiendo el principio del desplazamiento de la curva de lactato individual.

Dentro de las modalidades deportivas beneficiadas con la obtención del (UALs) en el terreno deportivo, se encuentra la natación. Utilizando un método para determinar el umbral

anaeróbico que consiste en 5 ó 7 etapas de cargas escalonadas en tramos de 300 metros. El aumento de la velocidad se consigue reduciendo en 15 seg, el tiempo de nado en los siguientes 300 m regulándose con un líder lumínico, la pausa del descanso de 30 seg entre los tramos, es destinada para registrar la (FC) y tomar pruebas de sangre y la carga (velocidad) inicial está ligada al estilo de nado orientado de modo que los primeros dos escalones sean puramente aeróbicos, finalmente la interrupción se efectúa cuando el deportista manifiesta cansancio subjetivo, aclarándose que para mantener la motivación en el test, participan simultáneamente dos nadadores (Mishchenko, 1995; Janssen, 1989).

Los tipos de pruebas mencionadas presenta las mismas ventajas que cualquier tipo de prueba de campo, no obstante, su principal beneficio radica en ser un método directo de análisis sanguíneo para la obtención de la cantidad de lactato real producida por el individuo en un esfuerzo físico realizado en el terreno deportivo (Stoudemire, 1996).

Las desventajas más notorias en dichas pruebas, son la utilización de equipos de muestreo de lactato, que necesitan que el individuo se detenga para obtener la muestra, la dependencia de la habilidad del que toma las muestras sanguíneas y el criterio que se manejará para interpretar el umbral, ya que sobre éste existen diversas controversias en determinar cuánta cantidad de lactato es la más representativa para determinar el (UALs) (Walsh, 1988; Wasserman, 1991).

PRUEBAS DIRECTAS DE LABORATORIO

Dentro de las pruebas de laboratorio directas para determinar el (UALs), está el método metabólico, que consiste en la colección seriada de muestras de sangre durante el ejercicio físico progresivo, para luego ser analizadas y obtener la curva de concentración de ácido láctico, o el

desequilibrio ácido-base reflejados por el (PH), además del exceso de base y bicarbonato. Dicho procedimiento se ha facilitado mediante la colección de muestras de sangre arterializada del lóbulo de la oreja o de las yemas digitales sin tener que tomar la muestra de una arteria (Smith, 1997).

Entre otros métodos utilizados en la actualidad para la determinación de lactato en sangre están: Los métodos fotoenzimático, basados en la determinación fotométrica del incremento de (NADH) en la reacción enzimática lactato-piruvato mediante (LDH), (GPT) y (NAD). El método electroenzimáticos o enzimopolarográfico, basado en la proporción lineal existente entre la concentración de lactato en una muestra y la producción de peróxido de hidrógeno (H₂O₂), que genera una corriente registrada por un electrodo específico. El método de análisis de inyección de flujo "flow, injection analysis" o (FIA), basados en la dispersión controlada de una muestra inyectada en un transportador no segmentario en movimiento continuo o flujo de reactivo. Un aporte fundamental en la obtención de muestras, es el tipo de estímulo al cual el individuo se ve sometido (cargas de intensidad) mediante algún tipo de ergómetro, preferiblemente que éste sea adaptado según la especialidad deportiva (González, 1992).

Mishchenko (1995) enfatiza que para la determinación del (UALs), los protocolos más indicados son aquellos cuya duración de cada carga (intensidad), sea de 3 a 5 minutos, progresivo y discontinuo, con períodos de descanso de 0.5 s a 1 minuto entre las cargas para la toma de muestras de sangre, algunos de ellos son: con ergómetros pudiéndose aplicar tres tipos generales de protocolos. En el primero la carga crece por etapas (cada 3 min) hasta el cansancio absoluto. Durante la prueba se determinan: el lactato al final de cada etapa (muestreando el lóbulo de la oreja), la velocidad del tapiz en movimiento, la velocidad del umbral anaeróbico al alcanzar el lactato la concentración de 4 mmol/L, el contenido máximo del lactato y el consumo máximo de oxígeno, en el segundo, el tapiz rodante corre a velocidad permanente (22 Km/h), aumentando la

carga 7,5% durante un lapso de 40 seg. Durante esta prueba se mide la concentración del lactato en la sangre desde el momento de reposo hasta el momento de su concentración máxima después de la carga. Se determina también el nivel del fosfato inorgánico en la sangre, el cual indica la participación de la potencia anaeróbica aláctica y en el tercero se hace igual que el segundo, pero la prueba continúa hasta la aparición subjetiva de agotamiento. En tal caso, el índice principal es el tiempo de trabajo, el cual revela la potencia anaeróbica (Boulay, 1997; Beneke, 1996).

Las pruebas para determinar el umbral anaeróbico en el laboratorio por medio de lactato presentan ventajas como obtención de muestras sanguíneas, control de variables (tiempo, intensidad, temperatura y otros factores externos), lo que las hace ser muy precisas, fiables y de fácil reproducir. Algunos autores utilizan como parámetro valores fijos que van desde los 2mmol/L a 4mmol/L, por lo que la unificación de criterios aún no está muy bien definida (Ribeiro, 1981, Janssen, 1989).

PRUEBA DE CONCONI

Conconi (1982) fue uno de los difusores principales de la utilización del denominado "punto de flexión", estimando que el entrenamiento bajo los límites de dicho parámetro era la forma más eficiente de aumentar el rendimiento aeróbico, lo cual fue probado por él mismo en la preparación del ciclista Mosser, antes de establecer un récord mundial en carrera de una hora, aumentando el interés de muchos por la utilización y modo de obtención de dicho parámetro. Conconi (1982) propuso un test, el cual se caracteriza porque responde a fines prácticos y se fundamenta en la determinación del tope según gráfico "FC-potencia", obteniendo la (FC) utilizando medidores portátiles o sistemas telemétricos (Mishchenko, 1995; Janssen, 1989).

Su principio se basa, en que al crecer la intensidad de la carga física, la frecuencia cardiaca no aumentará en forma paralela, por lo tanto la línea recta que marca su dependencia, tiende a desviarse en el momento donde la intensidad de carga incrementa, y si se mantiene dicha situación, el incremento de la (FC) se hace cada vez menor. Es en este punto donde se indica la existencia del "punto de flexión" o umbral anaeróbico. Este representa la intensidad de la carga física máxima, que puede realizarse con abastecimiento energético aeróbico, lo que significa que la separación de la curva "FC-intensidad", refleja la velocidad de la carrera pedestre, ciclista, de natación y de remo, con la que el deportista pasa del abastecimiento energético aeróbico, al abastecimiento energético anaeróbico (Janssen, 1989).

La prueba de Conconi para carrera pedestra fue validada mediante la correlación significativa entre la velocidad media (Vd) y la cantidad de lactato sanguíneo a 4 mmol/L determinando la pérdida de linealidad de la relación lactato-velocidad obteniendo una correlación (de $r = 0.99$, $n=10$ en el trabajo original de Conconi), pero existen controversias en cuanto a su resultado. También se investigó la fiabilidad de la prueba y la variabilidad inter e intra observador en la determinación de la Velocidad. Sin embargo, el desplazamiento hacia la derecha de la curva (Fc) menor para una misma velocidad, el incremento de la misma suele interpretarse de forma bastante general como indicador de una mejora de la resistencia aeróbica o del rendimiento mecánico, o de los dos. Otras investigaciones sobre dicha prueba indicaron que la extrapolación de la recta Fc-velocidad a los valores de (FC máx) permite el cálculo indirecto del (UALs), la capacidad predictiva de la velocidad en pruebas de larga distancia como la carrera de 5000 m o el maratón es de ($r=0,93$), y en la carrera continua de una hora de duración de ($r=0,99$). Dichos resultados nos muestran que la prueba parece ser un indicador válido de la resistencia aeróbica en esfuerzos de media duración (Mahon, 1997; Mishchenko, 1995 y Janssen, 1989).

En cuanto a costos, el equipo que se utiliza es más barato que el utilizado en otro tipo de pruebas aplicadas en el campo, como las de recolección de muestras de lactato, pero requiere de infraestructura como pistas para correr, ciclismo o patinaje dependiendo de la especialidad deportiva a evaluar, aún así es de mayor acceso para entrenadores o investigadores. Otro motivo que ayudó a ampliar la difusión de ese método fue su relativa sencillez con alta precisión y la viabilidad de su aplicación en las condiciones naturales del entrenamiento deportivo. Contribuye a ello en buen grado a la elaboración de un captador con suficiente memoria de medición de la FC denominado (Polar Sport Tester Polar Vantage) utilizado para mejorar la precisión de la prueba eliminando sus interrupciones (Janssen, 1989; Mahon 1997).

Mishchenko, (1995) agrega que el sistema planteado en la prueba Conconi, para determinar en los corredores el "punto de deflexión" de la (FC) o umbral anaeróbico en el campo, consiste en lo siguiente primero un buen calentamiento (15-30 min), luego se inicia con una carrera ininterrumpida con velocidad de 12-14 Km/h (según la cualificación del deportista); la velocidad crece cada 1.000, 400 o 200 m, pero no más de 0,5 Km/h. La velocidad debe mantenerse constante durante cada etapa del escalonamiento y al final de cada una de ellas (en los últimos 50m), se registra la (FC) y el tiempo para calcular la velocidad de la carrera. Por lo general se interrumpe en una velocidad de 18 a 25 Km/h. Se recomienda debido a que el nivel de la FC se establece al cabo de unos 15-20 seg al pasar a la siguiente velocidad, utilizar el protocolo del test más económico, con tramos de carrera de 200 m. Sólo para el caso en que la velocidad de cada etapa se incremente en no más de 0, 5 Km/h en 2 seg).

En las circunstancias anteriores, la cantidad aumentada de puntos de medición borra las posibles imprevisiones, surgidas debido a la brevedad de los tramos de la carrera, para las etapas de 1, 2 y 4 minutos de incremento de la velocidad de la carrera, se mantiene la elevada eficacia de

la prueba. Todas las mediciones de la velocidad y de la (FC) tomadas en los escalones de la carga se grafican; notándose que con bajas velocidades hay un aumento lineal de la (FC) y de la velocidad de la carrera, por el contrario con una determinada velocidad de carrera, la (FC) empieza a incrementarse con mayor lentitud alterándose su relación lineal, es en este punto donde precisamente se localiza el "punto de flexión", el cual es indicador del (UALs) (Boulay, 1997).

El protocolo del test de Conconi por sus características es un test para la valoración de la resistencia aeróbica y determinación del umbral anaerobio (UA) basados en la relación (Fc) velocidad. Esta es una prueba progresiva máxima triangular, colectiva, aplicable a la carrera y a otras especialidades deportivas, como la marcha atlética, el ciclismo, el remo, el piraguismo, el esquí de fondo, el patinaje y la natación. Su aplicación en pista de atletismo es la siguiente debe cubrirse la máxima distancia posible sobre una pista para atletismo de 400 mts a un ritmo progresivamente creciente. La velocidad inicial es lenta y depende del nivel del sujeto- suele ser de 10 Km/h y se incrementa cada 200 metros de forma que el sujeto los corra 2-3 segundos más rápidos, en cada estadio se registra el tiempo en que recorrió la distancia de 200 m (t), la frecuencia cardiaca (Fc), con un cardiotacómetro portátil y el cálculo de la velocidad media (Km/h) de cada estadio es mediante la ecuación: $V \text{ (Km/h)} = 720/t$, para luego ser relacionados en una gráfica de coordenadas X-Y: el eje de abscisas (X) para la velocidad media (Km/h) y el eje de ordenadas (Y) para (Fc) (puls/min). Ya sea por análisis visual de la gráfica o mediante un cálculo de regresión, para determinar el punto en el que la función $FC = (v)$ pierde la linealidad (Mischenko, 1995; Janssen, 1984).

PRUEBA VENTILATORIA

En años recientes los métodos por detección computarizada se han venido desarrollando en un esfuerzo por minimizar la subjetividad inherente en los métodos visuales. Con la finalidad de mejorar los procedimientos utilizados para determinar el umbral anaeróbico ventilatorio (UAV), se han puesto en uso una serie de pruebas que tratan de compensar las deficiencias de la aplicación invasiva y las de campo. Dichas pruebas utilizan las mediciones en los cambios de gases en la ventilación pulmonar durante el ejercicio, cuya sofisticación ha avanzado al punto de utilizar computadoras para la recolección de muestras en cada respiración (Yagesh, 1997; Scheider, 1993).

Dentro de las pruebas que se basan en este concepto se encuentra la denominada prueba metabólica cuyo nombre correcto por el procedimiento utilizado es el análisis de la pendiente ventilatoria o (V-Slope), donde los cambios de gases se detectaron mediante la utilización de un filtro, por donde pasa el aire expirado e inspirado y sus fluctuaciones son recogidas como datos (Wasserman, 1991).

El principio del Método de Intercambio Gaseoso (V-slope), radica en la determinación no invasiva del (UAV) durante el incremento del ejercicio, basados en que éste aparece por su dependencia con la amortiguación del ácido láctico por el bicarbonato, que es independiente de la respuesta ventilatorio frente al ejercicio. Cabe destacar que su base teórico - fisiológica para la determinación del (UAV) se apoya en los siguientes principios: 1). Que existe un nivel transicional de (VO_2) en el cual predomina la reducción en el estado redox de las fibras en contracción, y como resultado, el piruvato se convierte en lactato y se produce un aumento en la proporción lactato/piruvato; es decir, durante el ejercicio, el estado redox y los cambios en el lactato responden a una dinámica de umbral con respecto al (VO_2). 2). Los cambios anteriores en el estado redox de

la célula son consecuentes con el concepto de la existencia de un rango de ritmos de trabajo para los cuales el aporte de (O_2) no satisface enteramente las necesidades mitocondriales de (O_2) de los músculos en contracción y que se distinguen de los rangos de ritmos de trabajo en los cuales el aporte de (O_2) es adecuado. 3). Debido a que el (H) producido con el lactato que es inmediatamente amortiguado en la célula muscular, existe una liberación de 22,4 mml de (CO_2) por cada miliequivalente de ácido láctico amortiguado por el (HCO_3), este exceso de (CO_2) procedente de esta amortiguación es discernible por el análisis de intercambio gaseoso (Mahon, 1997).

La influencia de los mecanismos musculares locales son también detectados por este método. La interacción de éstos con los procesos respiratorios se reflejan en el estado ácido-básico de la sangre. Ya que los productos ácidos del metabolismo, que se forman con el trabajo anaeróbico, elevan bruscamente el pH intracelular, produciendo en la sangre un desplazamiento del (CO_2) de los bicarbonatos y por consiguiente es necesario eliminar con rapidez el (CO_2) "no metabólico", con el fin de mantener el equilibrio ácido-básico sanguíneo óptimo. Por consiguiente, debe producirse una eliminación excesiva de (CO_2) y un conjunto de fenómenos de alcalosis, que influyen en el tono del lecho vascular microcirculatorio, produciendo una deficiencia en la eliminación de lactato de los músculos activos durante la actividad física (Garnier, 1996).

Los cambios en la actividad muscular, se reflejan en un rápido aumento crítico del (PH) intracelular el cual incrementa el agotamiento muscular local y la aparición de la fatiga. Dicha fatiga se puede ver manifiesta por los fenómenos de agotamiento muscular local que pueden anteceder a los factores limitantes globales para todo el organismo, o en los fenómenos de alcalosis que alteran ante todo el funcionamiento óptimo de los sistemas cardiovasculares y respiratorios, limitando la capacidad de la contracción muscular (Beneke, 1997; Mishchenko, 1995).

Bongbele (1990) se refiere a los mecanismos de adaptación mejorados gracias al entrenamiento que están vinculados estrechamente con la optimización de las respuestas de los sistemas circulatorio y respiratorio, ya que cuando crece la intensidad de una carga física durante una ejecución deportiva se distinguen dos puntos entre la dinámica del incremento de la ventilación pulmonar y de la frecuencia cardiaca los cuales siguen una linealidad que llega a romperse conforme aumenta la intensidad. Por medio de esa quebradura de la línea entre la ventilación pulmonar y la (FC), es que se llegan a destacar tres zonas de tránsito aeróbico y anaeróbico: aeróbica; anaeróbica; anaeróbica-aeróbica. Por lo que teóricamente, para determinar los puntos de umbral es suficiente utilizar un índice de los indicados. No obstante, según la práctica, para que tal determinación sea fiable, es deseable valerse simultáneamente de dos índices (William, 1991).

En relación con el efecto del lactato sobre el intercambio gaseoso se indica que durante el ejercicio a intensidades altas, los mecanismos anaeróbicos de generación de energía complementan los mecanismos aeróbicos, produciéndose la acidosis láctica y debido a que el ácido láctico está altamente disociado en el medio acuoso del citosol celular, más de 99% del ácido láctico debe ser neutralizado (Beneke, 1997).

El primer incremento de 0.4 meq/L del lactato celular es aparentemente amortiguado por neutralizadores intracelulares con un (pK) aproximadamente igual al (PH) del agua celular, debido a que el lactato empieza a aumentar ligeramente antes de que el (HCO_3) comience a caer. Después del retraso los incrementos del ácido láctico son amortiguados estequiométricamente por el (HCO_3) (Garnier, 1996; William, 1991).

El (CO_2) adicional generado por la neutralización del ácido láctico por parte del (HCO_3), llega hasta 22.4ml de (CO_2) por cada miliequivalente de incremento en lactato, en comparación

con la que se habría producido aeróbicamente, esta cantidad es sustancial y puede ser rápidamente medible en el aire espirado. Dicha amortiguación del ácido láctico se da en la célula por el (HCO_3) , y ésta es la base de la relación entre el intercambio gaseoso y la generación de ácido láctico, que se refleja cuando la concentración de lactato empieza a crecer, después de un desfase de aproximadamente 0.5 meq/L en sujetos normales, la concentración de (HCO_3) comienza a caer, y el (VCO_2) aumenta con más pendiente que el (VO_2) y es en este punto de separación que se calcula el (UAV) (Garnier, 1996).

Cabe destacar que la función principal del (HCO_3) es ser amortiguador del ácido láctico, lo cual es importante desde el punto de vista de la osmolaridad de la célula, ya que la acumulación intracelular de lactato aumentaría la presión osmótica celular y causaría el hinchamiento de las células musculares. Es por ello que los cambios sólo son dependientes de la reacción físico-química de amortiguación del lactato por el (HCO_3) , y son independientes de la sensibilidad de los quimiorreceptores o de la respuesta ventilatoria al ejercicio. Por tanto, el análisis de la (pendiente-V) mide el (VO_2) al que se genera el (CO_2) a partir de la amortiguación del lactato por el (HCO_3) , durante la prueba de incremento progresivo del ejercicio, el (VCO_2) se representa gráficamente frente al (VO_2) (medidos simultáneamente "respiración a respiración"), para determinar un incremento en la pendiente (punto de flexión) (Wasserman, 1991).

Aclara Scheider (1993) que el término "Umbral ventilatorio", usado por algunos investigadores es incorrecto para este punto de flexión porque es independiente de la ventilación (la ventilación en ambas coordenadas se anula). Además, se señala que por debajo del (UAV), el (VCO_2) aumenta de forma lineal en proporción del (VO_2) consecuente con el cociente metabólico respiratorio de los músculos. Normalmente la pendiente se sitúa entre 0.85 y 1.0 con una media de 0.97 para sujetos con una dieta normal y por encima del (UAV), la pendiente de la relación

(VCO₂-VO₂) es predeciblemente mayor. El cambio de menor a mayor pendiente identifica el (VO₂) al que el ácido láctico empieza a ser frenado por el (HCO₃) y, teóricamente es la transición del trabajo totalmente aeróbico al anaeróbico.

Concretamente, los métodos de intercambio gaseoso podrían reflejar la acidosis láctica más que el umbral del lactato; sin embargo, sólo se refleja una pequeña diferencia entre los umbrales del lactato y el (UAV), medidos por intercambio gaseoso. El método (V-Slope) fue desarrollado en este caso con el fin de detectar el umbral anaeróbico usando líneas de regresión para analizar las pendientes del (VCO₂) expulsado, en función del (VO₂) inhalado. A través de este método se detectan los excesos en la salida de (CO₂), generados por el buffer de (H) originado por el aumento de ácido láctico no encontrándose diferencias significativas entre el (UAV) obtenido del (V-Slope), con relación al umbral de bicarbonato (HCO₃) (Scheider, 1993; Wasserman, 1991).

El protocolo (V- Slope), se aplica tanto en ciclo ergómetro como en cinta rodante, para la aplicación de las cargas en forma progresiva-continua con incrementos de 1 Km/h cada minuto, y a una inclinación fija de 3 grados y un sistema de recolección o ergoespirómetro para muestras de gas, además con la ayuda de un computador conectado al anterior para optimizar las apreciaciones. El modelo utilizado en estos casos es de tipo transicional de tres fases aplicado para analizar los cambios ventilatorios mediante el estudio del comportamiento de parámetros espirométricos el cual es aplicado en forma automática por el software del computador, detectando lo siguiente: a) Durante el inicio de un trabajo dinámico progresivo, el (VO₂), (VCO₂) y (VE) tiene un comportamiento lineal, al igual que la frecuencia cardiaca, produciéndose un aumento gradual de la (FC), en esta predomina el metabolismo oxidativo. b) A una intensidad media de trabajo el (VCO₂) pierde el comportamiento lineal y provoca un aumento del (VE) primer punto de ruptura, con incremento de la ventilación y un descenso de la (Fc); la hiperventilación compensatorio

fracasa y se instaura una progresiva acidosis metabólica y respiratoria (Mohon, 1997; González, 1992).

La precisión de dichas pruebas es bastante aceptada pero los costos en su aplicación son altos ya que el equipo a utilizar es muy sofisticado pues incluye ergómetros programables, utilización de computador y tanques de gas con concentraciones muy precisas para evitar pruebas alteradas, por lo que el acceso a dicho material no está al alcance de todos y el costo de las pruebas en donde se tiene dicho equipo es sumamente alto (Mohon, 1994; Tanaka, 1997).

Entre sus principales desventajas muchos observadores han encontrado que el (UAV) en el 40% algunos sujetos no era aceptable por patrones irregulares de respiración o incapacidad del sujeto para regular correctamente la ($PACO_2$) (el sujeto desarrollaba una acidosis respiratoria suave) (Wasserman, 1991).

La velocidad de incremento en el ritmo de trabajo debe ser suficientemente rápida como para hacer que el lactato aumente de manera significativa durante una prueba de incremento progresivo del ritmo de trabajo. Este es generalmente el caso de protocolos con un incremento del ritmo de trabajo cada minuto, si el tamaño del aumento es suficiente para hacer que el individuo alcance su ritmo máximo de trabajo en 8-12 minutos. Si el (UAV) del sujeto no se ha conseguido a su ritmo máximo de trabajo, o si la velocidad de incremento del ritmo de trabajo no ha sido suficiente para producir un cambio medible en la salida del (VCO_2) a partir de la neutralización, el componente superior (neutralización) de la pendiente no será evidente (Scheider, 1993; Weyand, 1994).

CAPITULO III

METODOLOGIA

En el presente capítulo se hace referencia a los sujetos que participaron en el estudio, a los instrumentos utilizados, a la aplicación de los protocolos, a la recolección de los datos y al análisis estadístico de los mismos.

SUJETOS:

En el estudio participaron 20 individuos hombres, jugadores de fútbol de la Selección Nacional (sub 20). Su promedio de edad fue de 18 años y el tiempo promedio de práctica conjunta fue de 6 meses. Dichos atletas fueron evaluados en el mes de noviembre de 1996, en el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la Clínica Krebs, ubicado en la provincia de San José, cantón de Tibás, área geográfica cuya altitud es de 1150 metros sobre el nivel del mar y la temperatura promedio para esa estación es de 25 grados centígrados.

INSTRUMENTOS:

Los instrumentos y protocolos usados para la validación de la prueba de campo "Conconi", Cols, (González, 1992), fueron los siguientes: la fórmula y la conversión del protocolo establecido para la prueba de Campo "Conconi y Cols" al laboratorio, para ello sus cargas de trabajo fueron grabadas en la memoria del controlador del electrocardiograma, el cual las aplicaba en forma automática (anexo # 1).

Esta prueba es máxima y consiste en cubrir una carrera de 400 m a un ritmo creciente y progresivo, cuya velocidad promedio oscila entre los 10 y los 14 km/h incrementándose cada 200 mt, de manera que el sujeto trate de realizar el recorrido de 2 a 3 segundos más rápido, finalizando la prueba en el momento en que no pueda completar el recorrido por factores como fatiga o descoordinación en la carrera. Así mismo se llevó un registro del tiempo y la frecuencia cardiaca del individuo anotándolos cada vez que este recorría 200 metros. González (1992) reporta para esta prueba una validación de $r = 0.99$, producto de la correlación entre velocidad y distancia (Vd) y el lactato obtenido a 4 mmol/L.

1. Un controlador de Pruebas y electrocardiograma (ECG) programable marca QUINTON Q4500.
2. Una banda rodante QUINTON Q65 serie 90.
3. Una Interfaces (POD) SENSOR MEDICS de 14 volt, serie 83Jl.
4. Un pulsómetro marca POLAR modelo Vantage XL.
5. Una hoja de recolección de datos (anexo #2).
6. Una calculadora científica marca Casio modelo FX-82 super.
7. Un ayudante evaluador.
8. Interface y software marca polar Vantage XL.

Los instrumentos y la prueba utilizada para correlacionar la validez del protocolo de "Conconi y Cols" (González, 1992) adaptado a laboratorio fueron: El protocolo de la prueba " Ventilatoria con analizador de gases en sistema abierto, mediante el método de pendiente Ventilatoria (Slope V)" utilizando para las cargas de trabajo las mismas establecidas en el protocolo de (Conconi) aplicado en la banda rodante.

Un controlador de Pruebas y electrocardiograma (ECG) programable marca QUINTON Q4500.

Una banda rodante QUINTON Q65 serie 90.

Una Interface (POD) SENSOR MEDICS de 14 volt, serie 83JI.

Un computador marca AST 486DLC.

Software de Sensor Medics "AUTOBOX 6200".

Impresora Canon Jet Printer BJC-4000.

Fuente analizadora de gases V máx serie 26.

Dos tanques de gas marca Sensor Medics con las siguientes concentraciones, uno con 4% Co₂, 16% O₂ y el otro con-26% O₂.

Una balanza: marca Scaleman electrónica.

Una regla de madera de 2m.

Electrodos para monitorización marca 3M, tipo "Red Dot" desechables.

PROCEDIMIENTO:

Primero se localizó a los sujetos pertenecientes al equipo de la Selección Nacional (Sub 20) del año de 1996, posteriormente se les explicó en forma grupal el propósito del trabajo, para motivarlos, al mismo tiempo explicarles de qué manera el resultado podría servirles para la práctica deportiva. A todos los individuos que aceptaron se les pidió un número de teléfono para localizarlos y se les indicó por escrito las fechas en que debían presentarse para la evaluación lo que se confirmaba dos días antes de cada evaluación, para recordarles no realizar ninguna actividad anaeróbica intensa, las pruebas se aplicaban entre las 10am y las 7pm. El lugar donde se

realizaron ambas evaluaciones fue en la Clínica Gimnasio Krebs ubicado 100 m, este de la Iglesia de Tibás.

Antes de que el sujeto realizara una prueba, debía ejecutar un calentamiento basado en ejercicios de flexibilidad para bíceps, tríceps, cuádriceps femoral, bíceps femoral, y cadera, cuya duración fue de 10 minutos. Posteriormente ingresaba a la banda rodante en la cual permanecía durante 3 minutos con una velocidad de 3.5 mph, y sin elevación, luego 5 min a 4.5 mph, después en forma manual se lleva 6 mph permaneciendo en este estado durante 2 min y por último se aumentaba en forma continua hasta llegar a la primera carga del protocolo de Conconi , y a partir de ese momento el mismo se controlaría automáticamente por el computador.

En el estudio se realizaron ambas pruebas tanto la de Conconi como la Ventilatoria de manera simultánea, por lo que se aplicó la prueba de "Conconi y Cols" (González, 1992) como protocolo base, adaptada a una banda rodante, con el analizador de gases para determinar el comportamiento de la pendiente ventilatoria con puesta por los parámetros (VCO_2/VO_2), en donde la pérdida de su linealidad indicó el punto de aparición del (UAV) (Walsh, 1988). Antes de cada evaluación se le tomaron los datos personales a cada sujeto, se les instruyó sobre la forma en que se les aplicaría la prueba y se evacuaron las consultas.

Durante cada prueba se vigiló el desenvolvimiento del individuo con el propósito de vigilar la uniformidad de su desempeño y al finalizar se le consultó sobre cualquier problema que le limitó o le facilitó la prueba.

TRATAMIENTO ESTADISTICO:

Se utilizó para dicho fin el paquete o software estadístico denominado ("MICROSTAT" de Escosof, Inc, 1984), para la aplicación de la estadística inferencial, medidas de tendencia central,

así como para la correlación de los resultados de ambas pruebas y análisis de T-test y para determinar el rango de precisión con el cual se puede comparar la diferencia entre el resultado obtenido en una prueba con relación a la otra, y así verificar el grado de error en la inferencia del resultado de una prueba con base en la otra, cuya finalidad es predecir a partir del resultado de una de las pruebas el umbral anaeróbico de la otra.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

El presente capítulo hace muestra de los resultados obtenidos en la aplicación del estudio, tratados estadísticamente y la interpretación de los mismos.

El cuadro 1, muestra el promedio y desviación estándar para la edad, el peso, la estatura, la presión sistólica, la frecuencia cardiaca, la grasa corporal, la masa muscular, consumo máximo de oxígeno, el umbral anaeróbico obtenido mediante la prueba ventilatoria y el umbral anaeróbico determinado por la prueba de Conconi en futbolistas varones menores de 20 años.

VARIABLE	PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR
EDAD (años)	17,1	1,1
PESO (kg)	63,4	10,2
ESTATURA (cm)	170,5	6,8
PRESION SISTOLICA (mmHg)	112,3	12,5
FRECUENCIA CARDIACA (b/min)	158,7	15,4
GRASA CORPORAL (%)	12,8	2,1
MASSA MUSCULAR (kg)	38,5	4,2
CONSUMO MAXIMO DE OXIGENO (ml/kg/min)	39,5	3,2
UMBRAL ANAEROBICO (METODO VENTILATORIO)	163	10,5
UMBRAL ANAEROBICO (METODO CONCONI)	145	10,3

Cuadro 1. Promedio y desviación estándar de las variables, edad, peso, estatura, presión arterial, frecuencia cardiaca, consumo de oxígeno, umbral anaeróbico método ventilatorio, umbral anaeróbico método Conconi, porcentaje de grasa y masa muscular en futbolistas menores de 20 años pertenecientes a la Selección Nacional de Costa Rica (Sub - 20) (N = 20).

VARIABLES	X	S
EDAD (Años)	18	0.67
PESO (kg)	68.06	7.95
ESTATURA (cm)	1.74	0.78
PRESION SISTOLICA (mmg)	121.50	14.24
FRECUENCIA CARDIACA REPOSO (lat/min)	58	9.27
MASA GRASA (%)	9.41	2.67
MASA MUSCULAR (%)	54.51	2.30
CONSUMO MAXIMO DE OXIGENO (ml/kg/min)	59.38	10.86
UMBRAL ANAEROBICO METODO VENTILATORIO (FC)	163	9.26
UMBRAL ANAEROBICO METODO CONCONI (FC)	167	10.20

En el cuadro 1 se puede observar lo homogéneo de la población en cuanto a la variables edad, estatura, porcentaje de masa grasa y masa muscular cuyas desviaciones estándares indican que los resultados de estas variables no están muy dispersos .

El cuadro 2, presenta el promedio, desviación estándar y la correlación (Pearson) para el umbral anaeróbico obtenido mediante la prueba ventilatoria y el umbral anaeróbico determinado por la prueba de Conconi en futbolistas varones menores de 20 años.

Cuadro2. Promedio, desviación estándar y correlación de las variables umbral anaeróbico obtenido por método ventilatorio (UA V) y umbral anaeróbico obtenido por método Conconi (UA C), en futbolistas varones menores de 20 años pertenecientes a la Selección Nacional de Costa Rica (Sub - 20) (N = 20).

METODOS					
(UA V)		(UA C)			
X	S	X	S	CORREL	PROB.
163	9.26	167	10.20	0.8089	0.05

En esta tabla se muestra la existencia de una correlación alta y positiva (0.80) en el registro de la frecuencia cardiaca obtenida en el momento en que se da el umbral anaeróbico por medio del método ventilatorio y el de Conconi con una ($P < 0.05$), lo que nos indica que tanto los procesos ventilatorios y metabólicos responden de manera similar ante el protocolo de la prueba de Conconi.

El cuadro 3, presenta el promedio, desviación estándar y análisis de varianza para el umbral anaeróbico obtenido mediante la prueba ventilatoria y el umbral anaeróbico determinado por la prueba de Conconi en futbolistas varones menores de 20 años.

Cuadro 3. Promedio, desviación estándar y varianza de las variables umbral anaeróbico obtenido por método ventilatorio (UA V) (Fc) y umbral anaeróbico obtenido por método Conconi (UA C) (Fc), en futbolistas varones menores de 20 años, pertenecientes a la Selección Nacional de Costa Rica (Sub - 20) (N = 20).

METODOS					
(UA V)		(UA C)		VARIANZA	
X	S	X	S	F	PROB.
163	9.26	167	10.20	1.727	0.1967

En este cuadro se muestra la no existencia de una diferencia estadística significativa en la frecuencia cardiaca registrada al darse el umbral anaeróbico obtenido por ambos métodos, con una ($P > 0.05$).

El cuadro 4, muestra el análisis de varianza y el análisis de regresión para el umbral anaeróbico obtenido mediante la prueba ventilatoria y el umbral anaeróbico determinado por la prueba de Conconi en futbolistas varones menores de 20 años.

Cuadro 4. Varianza, análisis de regresión, certeza e intervalo de confianza de las variables umbral anaeróbico obtenido por método ventilatorio (UA V) (Fc) y umbral anaeróbico obtenido por método Conconi (UA C) (Fc), en futbolistas varones menores de 20 años, pertenecientes a la Selección Nacional de Costa Rica (Sub - 20) (N = 20).

VARIABLES							
IND	DEP	Error STD	T	F	P	GRADO DE CERTEZA	INTERVALO DE CONFIANZA
(UAV)	(UAC)	6.16	5.83	34.085	0.00002	95%	(+ ó -) 12 pul/min
(UAC)	(UAV)	5.59	5,83	34.085	0.00002	95%	(+ ó -) 11 pul/min

IND: Variable independiente.

DEP: Variable dependiente.

Con el análisis de regresión se puede predecir en futbolistas varones menores de 20 años pertenecientes a la Selección Nacional de Costa Rica (Sub 20) (N = 20); el (UAC) determinado por la prueba de Conconi, a partir del (UAV) obtenido mediante la prueba ventilatoria, y viceversa.

Con el resultado del (UAV), se predice el resultado del (UAC), tomando en cuenta que con un 95% de certeza , el intervalo de confianza en dicha predicción es de (+ ó -) 12 pul/ min. Mientras que al contrario si se predice con el resultado del (UAC) el (UAV), con un 95% de certeza , el intervalo de confianza en dicha predicción es de (+ ó -) 11 pul/ min.

DISCUSION:

Los resultados de este estudio evidencian la veracidad de la teoría que apoya la existencia del umbral anaeróbico, observada por medio del análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de Conconi y ventilatoria (V-Slope) realizadas en el laboratorio mostrándose que la (FC) se comportan en forma de parábola cuando un individuo se enfrenta a una actividad física de intensidad creciente mayor al 50% de su (VO₂ máx), lo que coincide con lo explicado por (Boulay, 1997).

No obstante la controversia surge a través de la relación entre los datos obtenidos de las dos pruebas aplicadas, los cuales difieren en el momento de detección del umbral anaeróbico, lo que coincide con lo expuesto por Mishchenko (1995); Janssen (1989); Karlman (1994); y Bassett (1991).

Partiendo del análisis de la prueba Conconi, ésta es confrontada por tres teorías que se refieren a la producción de lactato como indicador del umbral anaeróbico. La primera indica que la producción de ácido láctico no es un parámetro objetivo para la determinación del umbral anaeróbico ya que la cantidad acumulada o producida por la contracción muscular no es medible por medio del análisis de lactato sanguíneo, para ello es necesario medir directamente el lactato muscular. La segunda se refiere a la rápida velocidad con que este metabolito es producido y

removido, lo que hace que difícilmente se pueda establecer un comportamiento uniforme que sirva para determinar el momento en que se da el umbral anaeróbico como lo indica Walsh (1988).

Mientras que la tercera es apoyada por autores como Karlman (1994), Mishchenko (1995) y González (1992) quienes hacen referencia de la posibilidad de obtener el umbral anaeróbico por medio del comportamiento en las variaciones de las cantidades de lactato sanguíneo y que la precisión de este método depende de la técnica de muestreo, siendo mejor si el mismo se hace lo más constante posible, lo mismos indican que la producción de dicho metabolito se ve afectada por la intensidad de la actividad física, al igual que ocurre con la (FC) existiendo una relación entre estas variables este es el punto de partida en el que se fundamenta la prueba indirecta de Conconi, la cual correlacionó en (.99) ($P < .05$) con el análisis del lactato sanguíneo en el estudio original de Conconi creador de dicha prueba, aunque esto no ha sido corroborado en otras investigaciones.

Con relación a la prueba ventilatoria para determinar el umbral anaeróbico en este caso ventilatorio (UA V), se da una problemática teórica más compleja; ya que se sostienen que los cambios en la función ventilatoria no tienen que ver directamente con la producción de lactato sanguíneo ni con la velocidad de los cambios en la (Fc) a esto se agrega el problema de que no se encontraron validaciones entre datos obtenidos por medio de estos métodos con métodos directos Walsh (1988).

El enlace fisiológico de dichas pruebas está basado en el modelo teórico de Wasserman y colaboradores (1991), quienes indican que el umbral anaeróbico es resultado de la anaerobiosis proceso que involucra la incapacidad metabólica de reutilizar o eliminar el lactato muscular y sanguíneo el cual contribuye a desplazar el ácido no volátil, lo cual incrementa la eliminación de (CO_2) mediante el sistema amortiguador de bicarbonato, esto se refleja en el flujo de (CO_2) a los pulmones detectable por medio de analizadores de gases y denominado punto de compensación, es

por ello que se enlaza la insuficiencia muscular de (O₂) muscular, producción de lactato y cambios en la ventilación pulmonar indicando que su variación no es significativa, lo cual es compatible con los resultados arrojados en esta investigación, tanto en la correlación como en el análisis de varianza el cual hace constar que estadísticamente no existen diferencias significativas entre ambas pruebas.

Los resultados de este estudio muestran que el comportamiento de los cambios en el (UA V) y (UA C) son semejantes, ambos se comportaron siguiendo una parábola y no una linealidad posibilitando precisar el umbral anaeróbico mediante ambas pruebas; sin embargo, al comparar los umbrales obtenidos por medio de las dos diferentes pruebas indirectas, la de Conconi dada por el comportamiento de la (FC - intensidad) y la ventilatoria por la (FC) registrada en el momento en que se da el rompimiento de la linealidad entre (VO₂) y (VCO₂), se obtuvo una correlación alta y positiva (0.80) (P < .05) entre ambas frecuencias cardiacas, lo que difiere de la correlación obtenida en el estudio de Conconi entre el comportamiento de la frecuencia cardiaca con la acumulación de lactato sanguíneo para obtener el umbral anaeróbico fijado a un nivel de 4mmol, la cual fue de 0.99. Esto conlleva de antemano a hacer una diferenciación entre los umbrales obtenidos por ambas pruebas a partir de los cambios en la frecuencia cardiaca; aunque ambos procesos fisiológicos son utilizados en forma independiente como guía para la determinación del umbral anaeróbico ventilatorio y de lactato sanguíneo, lo cual coincide con lo expuesto por Walsh (1988); Boulay (1997), Yagesh (1997) y William (1991).

Para la explicación de dicha variante hay que retomar a manera de síntesis que la prueba de Conconi en sí, está supeditada a las variaciones de la frecuencia cardiaca que son producidas por los aumentos constantes en la intensidad de la carrera, si es comparada con los cambios a nivel de lactato sanguíneo y a nivel ventilatorio existe el siguiente común denominador que afecta a

estos procesos y es la intensidad del ejercicio mientras que su diferencia se refleja en el tiempo de reacción de dichos mecanismos. Tanto la (FC) como la producción de ácido láctico y los niveles de (O₂) vrs (CO₂) son afectados en su comportamiento de forma independiente al someter a un individuo a una carga física, tratando de dar una respuesta a dichos cambios en forma inmediata, lo cual sucede gracias a los centros reguladores de (O₂) localizados en el corazón y en el cerebro son sensibles al contenido de (O₂) sanguíneo, lo mismo pasa a nivel celular, ello para poder mantener la capacidad energética necesaria y el aporte de (O₂) suficiente para hacerle frente a la situación externa, por medio de la oxidación de substratos energéticos necesarios para poder mantener el ritmo de la actividad física como es confirmado según lo investigado por Janssen (1989); Karlman (1994), Boulay (1997) y Tanaka (1997).

Es por lo tanto una de las funciones principales de los cambios en la (FC), responder a las demandas de oxígeno por medio del mejoramiento de la irrigación sanguínea oxigenada y renovación de la misma. Si ésta no puede con la demanda ya sea porque el individuo no está bien entrenado, está sobreentrenado o por alguna enfermedad, la sangre se puede cargar de lactato como producto de un déficit en su utilización como fuente de energía o su eliminación como producto de desecho, lo cual fomenta la producción de lactato por arriba de los índices normales, ello obliga al sistema de bicarbonato a amortiguar dicho ácido, generándose de esta forma un aumento de (CO₂) proceso que se da antes de acumularse lactato metabólicamente a nivel de 4mmol/L, índice que se considera producto de un faltante de oxígeno, lo que se traduce en un deterioro del rendimiento físico, y aunque el lactato tiene entre sus funciones la regeneración del pirovato, esto no puede ser sostenido por mucho tiempo si la intensidad de la actividad es alta para la capacidad aeróbica del atleta (Tanaka, 1997; Wasserman, 1994 ; William 1991).

Congruente con autores como Mahon y Smith, (1997) y Wasserman (1994) quienes señalan que hay que tomar en cuenta que la intensidad de la actividad física afecta a la (Fc) la ventilación pulmonar, la producción y desecho de ácido láctico, procesos cuya velocidad de respuesta a dichos cambios son semejantes pero difieren en el tiempo de reacción, lo que se evidenció en este estudio, ya que en la comparación de la (Fc) obtenida mediante la prueba de Conconi para indicar el (UA C) y la obtenida por el analizador de gases para el (UA V), no mostró una relación precisa basándonos en el intervalo de confianza para predecir (UA C) con el resultado del (UA V) y viceversa ya que en el resultado del (UA C), tomando en cuenta un 95% de certeza, el intervalo de confianza en dicha predicción es de (+ ó -) 12 pul/ min. Mientras que al contrario si se predice con el resultado del (UA C) el (UA V), con un 95% de certeza, el intervalo de confianza en dicha predicción es de (+ ó -) 11 pul/ min. Lo anterior debido a que fisiológicamente la velocidad de respuesta a los cambios orgánicos producidos por la intensidad del ejercicio son diferentes entre la (FC), la inhalación, distribución y exhalación final de (O₂) y (CO₂) a nivel pulmonar.

Los resultados de este estudio corroboran lo explicado por Mishchenko (1995) quien indica que la (FC) reacciona casi inmediatamente a cualquier cambio en la actividad física ya que la misma es regulada por (SNC) y por la percepción del corazón a las cantidades de (O₂) y acidez sanguínea, en la cual se involucra el lactato, ya que su acumulación produce un proceso de acidificación. Por su parte los cambios en el contenido de (VO₂) y (VCO₂) no reaccionan de forma tan eficiente, y no se detectan tan rápidamente ya que sus respuestas están supeditadas a ciertos cambios previos como son demanda y utilización de (O₂), la necesidad de remover la sobreproducción de (CO₂) y la capacidad de compensación de la acidez sanguínea, procesos cuyos productos no son determinados en forma inmediata para que su efecto se refleje en el rango ventilatorio, debido a que sus caminos metabólicos son demasiado largos.

Lo anterior como lo indica Smith (1997) sucede ya que cuando hay una actividad física de intensidad creciente cerca del 60% del (VO_2 máx) o más, el sistema nervioso central es el primero en reaccionar a través de centros ubicados en la corteza cerebral y en el corazón, los cuales mandan información al (SNC) de acuerdo a la demanda de oxígeno. Conforme se mantiene la actividad física el sistema celular debido a la contracción muscular reacciona a un mismo tiempo, mediante cambios de substrato energético para satisfacer las necesidades energéticas según se requieran, involucrando la producción de ácido láctico o lactato en forma inmediata el cual aumenta el (PH) celular y sanguíneo, mientras que el sistema pulmonar también es afectado pero, no reacciona de manera tan rápida y precisa pues el tiempo de ajuste de los mismos depende de cantidades hormonales, impulsos nerviosos y productos metabólicos que viajan a través del torrente sanguíneo. No es entonces hasta pasado un tiempo después de iniciar una actividad física, que se puede llegar a un estado estable entre todos los sistemas, y sólo si se mantiene un ritmo e intensidad constante. Cualquier variación en el mismo afectará los sistemas anteriormente mencionados y su reacción en tiempo seguirá el mismo patrón de prioridades.

No obstante en los resultados del estudio se observa que no hay una concordancia total en cuanto al tiempo de aparición del umbral anaeróbico ventilario ya que la (F_c) promedio en la que se determinó fue de 163 pulsaciones mientras que en la prueba de Conconi fue de 167 pulsaciones lo que indica que la primera variable antecede a la segunda, esto se aclara tomando en cuenta lo explicado por González (1992), quien indica que la correlación del estudio original de Conconi entre (F_c) y lactato sanguíneo no ha sido reproducida con el grado de correlación de (0.90) a nivel de 4 mmol/l. Además hay que tomar en cuenta que la prueba de Conconi fue obtenida en este estudio sin determinar las variaciones de lactato sanguíneo por lo que la relación entre (UA_C) y (UA_V) se hace más indirecta y las referencias sobre esta relación se han deducido de los modelos

fisiológicos sobre umbral anaeróbico ventilatorio y de lactato sanguíneo expuestos por Walsh (1988), Mahon y Tanaka (1997), debido a la no existencia de datos sobre otras reproducciones del mismo estudio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados de este estudio se llegó a las siguientes conclusiones:

1. En el grupo de jugadores evaluado se mostró un umbral anaeróbico promedio de 167 pulsaciones por minuto, obtenido a través de la prueba de Conconi adaptada al laboratorio.
2. Por medio de la utilización del analizador de gases durante el protocolo de Conconi en forma simultánea se obtuvo el umbral anaeróbico con promedio de 163 pulsaciones por minuto en el grupo de jugadores de la Selección Nacional de Costa Rica (Sub 20).
3. La correlación entre las frecuencias cardiacas en que se detectó el umbral anaeróbico, mediante la prueba de Conconi adaptada al laboratorio y por medio del analizador de gases en futbolistas con una edad promedio de 18 años es alta y positiva 0.80 ($P < .05$).
4. De acuerdo con los resultados de este estudio se puede indicar que en futbolistas de la Selección Nacional Sub 20, con una edad promedio de 18 años los tres mecanismos ácido láctico, (Fc) y cambios ventilatorios van a ser afectados por la actividad física, pero no se puede inferir con total exactitud uno a partir de los resultados del otro mediante la comparación en la frecuencia cardiaca obtenida. Ya que al predecir el (UA C), con los resultados obtenidos del (UA V), se puede incurrir a un error de sobre o sub estimación de (+ ó - 12 pul/min), y si es al contrario el error es de (+ ó - 11 pul/min), tomando en cuenta que ambas predicciones están basadas en un 95% de certeza.

RECOMENDACIONES

Al finalizar este estudio se dan las siguientes recomendaciones para posteriores investigaciones sobre esta temática:

1. En estudios posteriores sería de gran importancia la comparación de la prueba Conconi, con la ventilatoria y la de lactato sanguíneo, aplicadas en forma conjunta en ambiente de laboratorio para obtener un mejor parámetro de referencia sobre las diferencias en el tiempo en que se manifiesta el umbral anaeróbico.
2. Realizar estudios separados del comportamiento del umbral anaeróbico con la prueba de Conconi, ventilatoria y de lactato sanguíneo con un grupo control para analizar las variaciones en sus resultados.
3. Hacer análisis comparativos entre la prueba de Conconi, ventilatoria y de lactato sanguíneo con poblaciones homogéneas y representativas de diferentes especialidades deportivas.
4. Para lograr una mayor confiabilidad de estudio original de Conconi, podría reproducirse su estudio en ciclo ergómetro para verificar la correlación reportada en el mismo.
5. Utilizar la prueba de Conconi, ventilatoria y sanguínea con sus protocolos estandarizados por separado con la finalidad de verificar realmente sus diferencias en la detección del umbral anaeróbico.
6. Realizar este mismo estudio con una muestra más amplia para el análisis diferenciado de jugadores por posición para estandarizar valores en el umbral anaeróbico o elaborar perfiles y para determinar de manera más precisa el grado de variabilidad entre una prueba y otra.

7. Otro tema de estudio utilizando estas variables puede ser el como afecta el tipo de calentamiento en los resultados de la evaluación con la finalidad de realizar un protocolo de calentamiento estandarizado que evite el inconveniente dado por la deuda de O2.

BIBLIOGRAFIA

- Astrand P.O, Rodahl. (1985) Fisiología del Trabajo Físico. Buenos Aires: II ED. Panamericana.
- Bassett R.D, Merrill W.P and etal. (1991) "Rate of Decline in Blood Lactate After Cycling Exercise in Endurance-Trained and Untrained Subjects". J. Appl. Physio. v 70 n.4 (april) p.1816 - 1820.
- Baumgartner T.A, Andrew J. (1982) Physical Education: Measurement For Evaluation. ED. Wmc Brown Comp. D. U.S.A.
- Beneke Ralph et al (1996) "Determination of maximal lactate steady state response in selected sport event". Med. Sic. Sports Exerc. v.28 n.2 (Febrero). p.241-249.
- Binder N.D, Day Dand et al (1991) "Role of the circulation in Mesurement of Lactate Turnover rate". J. Appl Physio. v.70 n . 4 (April) p. 1469-1475.
- Brooks G, Fahey D.T. (1984) Exercise Physicology. ED: Wiley, Canadá.
- Bongbele J.Dr, Sainz J.Dr. (1990) "Bases Bioquímicas de la Fatiga Muscular Durante Esfuerzos Máximos de Tipo Anaeróbico" . Archivos de Medicina del Deporte. v. VII (Enero-Marzo) n.25 p 49-56.
- Bosco C. (1994) Aspectos Fisiológicos de la Preparación Física del Fútbolista. ED: Paido Tribo, Barcelona.
- Boulay, M. R. (1997) "Monitoring high-intensity endurance exercise with heart rate and Thresholds" . Med. Sic. Sports Exerc. v 29 n.1 (junio) p 125-132.
- Cuesta G, Polo J.M, Padillas. (1991) "Correlación entre la marca deportiva obtenida en Test de Campo y Parámetros Fisiológicos obtenidos en el Laboratorio, en Piraguistas Adolescentes ". Apunts Medicina del Sport . v XVIII, p 131- 141.

- Fox L.E. (1992) Fisiología del Deporte. ED: Medica Panamericana, Buenos Aires.
- González G. J. (1992) Fisiología de la Actividad Física y del Deporte. ED: Interamericana, Madrid, España.
- Janssen, P.G. (1989) Training in lactate pulse rate. ED: Polar electro, Oulu Finland.
- Karlman W. et al. (1994) "Facilitación del consumo de oxígeno por la acción de la acidosis láctica durante el ejercicio". Actualización en las ciencias del deporte. v.2 n.5 (Marzo). p. 29-34.
- Mahon Anthony (1997) "Blood Lactate and Perceiver Exertion Relative to Ventilatory Threshold; Boy vrs Men". Med. Sci. Sport Exerc. v.29 n.3 (Marzo) p. 402-409.
- Mishchenko S.V. (1995) Fisiología del Deportista. Ed. Paído Tribo, España, Barcelona.
- Pinto, R. J. (1981) "Umbral Anaeróbico". Archivos de la Sociedad Chilena de Medicina del Deporte. v. 26 (oct) p. 18.
- Prat J.A. (1986) "Correlación entre el Test de Campo Léger (Course-Navette) y un Test de Laboratorio de Cargas Progresivas". Apuntes Medicina del deporte. v. 13 n. 90 (dic) p. 209.
- Quintana y otros. (1981) "Aplicación y Análisis Metodológico de la Medición de la Capacidad Anaeróbica Mediante el Test Wingate, en diferentes Especialidades Deportivas". Archivos de la Sociedad Chilena de Medicina del Deporte. V. 26 (oct) p. 2 - 9.
- Ribeiro J.P. De Rose E. (1981) "Umbral Anaeróbico". Archivos de la Sociedad Chilena de Medicina del Deporte. v. 26 (oct) p. 18.
- Rodado B. J. A, López G.D. (1992) Diccionario de las Ciencias del Deporte. Ed. Unisport, España, Andalucía.
- Samper H. R. Collado F.C., Lucio B.P. (1995) Metodología de la Investigación. Ed. Mc Graw

Hill, México DF.

Scheider, D.A. (1993) "The simplified V-Slope Method of Detecting The Gas Exchange Threshold". Med. Sic. Sports. Exerc. v.25 n. 10 (Ago) p. 1180 – 1184. *houser.*

Smith, W. (1997) "Lactate Distribution the Blood During Progressive Excercise". Med. Sic. Sport Exerc. v.29 n.5 (Mayo) p.654-611.

Tanaka Hiroaki et al (1997) "Double Product Response is Acelerated Above the Blood Lactate Treshold". Med. Sic. Exerc. v.29 n.4 (Abril) p.503-511.

Walsh M.L., Banister E.W. (1988) "Possible Mechanism of the Anaerobic Threshold and Review". Sport Medicine. v.5 n. 5 p. 270 – 302.

Wasserman K. M. D, PND, Baever W.L., PhD, Whipp J.B, P h D, Dse. (1991) "La Teoría del Intercambio Gaseosos y del Umbral (Anaeróbico) Acidosis Láctica". Apunts Medicina del Sport v. XVIII p. 7-13.

Weyand P.G, K.J. Cureton, D.S. Conley, M.A. Sloniger. (1994) "Peak Oxigen Deficit Predicts Sprint and Middle-Distance Track Perfomance". Med. Sic. Sport Exerc. v. 26 p. 1774-1180.

William D; Frank I and Victor K (1991) Energy, Nutrition, and Human Perfomance. ED: Lea y Febiger. III ed. Phidadelphia/London.

Yagesh N. Et al (1997) "Detection of Ventilatory Threshold Using Near in Frered Spectroscopy in Mean and Women". Med. Sic. Sports Exerc. v.29 n.3 (Marzo) p. 402-409.

ANEXO 1

Protocolo de la prueba "Conconi" adaptada al laboratorio.

1. Toma de los datos base:

Edad (años).

Peso (kg).

Estatura (cm).

Género.

Presión arterial (mmhg).

Frecuencia cardiaca en reposo (lat por min).

Fecha de nacimiento.

2. Explicación breve sobre el ingreso a la banda sin fin.

Lugar de colocación antes de entrar y estando en ella.

Modo de ingreso.

Como indicar el esfuerzo que siente utilizando como guía la escala de percepción del esfuerzo.

3. Preparación del individuo.

4. Procedimiento de encendido del controlador de pruebas y electro cardiograma (E.C.G).

5. Inicialización del protocolo programado.

El individuo ingresa a la banda sin fin con una velocidad de millas por hora luego se aumentará manualmente hasta 3.3 millas por hora en 1 min y se inicia el protocolo en el cual el individuo pasa por una serie de estados y en cada uno de ellos se graba mediante un pulsómetro (Polar), la frecuencia cardíaca, y la carga incrementa cada 200 metros.

6. Finalización del protocolo.

Se finaliza en el momento en que el individuo no pueda hacer frente a la carga de trabajo indicándolo por medio de la gráfica de percepción del esfuerzo, en este momento el individuo se agarra de la barra protectora de la banda y se empieza a disminuir la velocidad progresivamente en forma manual hasta que el individuo se recupere.

7. Los datos necesarios para obtener el umbral anaeróbico son la velocidad (km/h) y la frecuencia cardiaca para tratarse de la siguiente manera:

Se obtiene la velocidad media de cada estadio, mediante la ecuación $V \text{ (km/h)} = 720/\text{tiempo}$.

Se relacionan las velocidades medias con las frecuencias cardiacas obtenidas mediante una gráfica de coordenadas X – Y: el eje de las abcisas (X), para la velocidad media (km/h) y el eje de ordenadas (Y) para la frecuencia cardiaca (puls/min).

Por medio del análisis visual de la gráfica o por un cálculo de regresión, se determina el punto en el que la función $F_c = f(v)$ pierde la linealidad, el cual se denomina punto de flexión.

Estadio	Tiempo (minutos)	Velocidad (millas por hora)	Elevación en grados	Mets
1	1:10	6.3	0	10.7
2	1:08	6.5	0	11
3	1:06	6.8	0	11.4
4	1:04	7.0	0	11.7
5	1:02	7.2	0	12
6	1:00	7.5	0	12.4
7	0:58	7.7	0	12.8
8	0:56	8.0	0	13.2
9	0:54	8.3	0	13.7
10	0:52	8.6	0	14.1
11	0:50	9.0	0	14.7
12	0:48	9.3	0	15.3
13	0:46	9.7	0	15.9
14	0:44	10.1	0	16.5
15	0:42	10.69	0	17.3
16	0:40	11.20	0	18.1
17	0:38	11.8	0	19.0
18	0:36	12.5	0	20.0
19	0:34	13.1	0	21.1
20	0:32	14	0	22.4

ANEXO 2

Protocolo de la prueba análisis de la pendiente ventilatoria (V – Slope).

1. Calibración del sensor de flujo (medidor de cambios en el flujo de los gases expirados).
2. Apertura de un nuevo archivo en el software y selección de la banda rodante como ergómetro.
3. Escogencia del tipo de estudio “umbral anaeróbico”.

Conección del controlador de pruebas y electrocardiograma (E.C.G), ingresándole los datos del individuo. Esta unidad trabaja en forma conjunta con la computadora y el analizador de gases mediante una unidad de interfase.

La obtención de la frecuencia cardíaca se da por medio de los electrodos, enviando la señal al (E.C.G) y de esta a la computadora mediante la interfase, a su vez esta obtiene el análisis de los gases y lo gráfica, mientras que el (E.C.G) controla las cargas de trabajo.

4. Se realiza la calibración de los gases que alimenta la unidad analizadora de gases “Vmax 26” y se archiva el dato en la memoria del computador.

5. Toma de los datos personales del individuo.

Edad.

Peso.

Estatura.

Género.

Presión arterial y frecuencia cardíaca en reposo.

Fecha de nacimiento.

6. Explicación breve de la prueba al individuo:

Lugar de colocación en la banda rodante.

Modo de ingresar a la banda rodante.

Como indicar el esfuerzo que siente por medio de la escala de percepción del esfuerzo.

7. Preparación del individuo.

Lugar de colocación de los electrodos siguiendo el procedimiento de “Cabrera”.

Colocación de los cables del (E.C.G) y su ajuste.

Colocación de la mascarilla con el sensor de flujo.

Toma de la posición correcta en la banda.

Piernas abiertas para apoyar los pies en la zona de seguridad de la banda, las manos en la barra de agarre frontal de la banda, vista al frente y adecuación de la técnica de caminata y luego de trote .

8. Procedimiento de encendido del controlador de pruebas y electro cardiograma (E.C.G).

Encendido.

Alimentación con los datos del sujeto.

9. Inicialización del protocolo programado, en forma conjunta se inicia el test del computador y el (E.C.G). El individuo ingresa a la banda rodante con una velocidad inicial de millas por hora, luego se aumentará manualmente hasta 3.3 millas por hora y se inicia el protocolo programado en este caso el de Conconi.

10. Finalización del protocolo. Se finaliza en el momento en que el individuo no pueda hacer frente a la carga de trabajo indicándolo por medio de la escala de percepción del esfuerzo o cuando este llegue al 80% de su Fc máxima, en este momento el individuo se agarra del protector de la banda y empieza a disminuirse la velocidad paulatinamente en forma manual.

11. Los datos necesarios para obtener el umbral anaeróbico son visualizados y graficados por el computador para posteriormente imprimir el reporte con los resultados.

TABLA CON LA BASE DE DATOS

Sujeto	P	Edad	Peso	E	P.A	FCR	Gr %	MU	VO2	UA V	UA C
		(años)	Kg/L	(cm)	mm/h	puls/ min		%	Max	F.C	F.C
			b		g				ml/kg		
									/min		
1	PT	18	77.27	1.84	120/ 60	46	10.61	53.49	62	176	178
			170								
2	PT	19	84.55	1.80	140/ 80	64	17.33	47.45	37.2	162	175
			186								
3	PT	18	68.18	1.77	140/ 70	65	9.22	54.43	40.7	155	156
			150								
4	DF	18	80	1.87	120/ 60	60	11.74	53.10	69.5	162	155
			176								
5	DF	18	74.09	1.77	120/ 80	60	11.29	52.76	55.9	163	170
			163								
6	DF	18	76.36	1.83	120/ 70	53	10.61	52.91	62.7	162	159
			168								
7	DF	19	65.91	1.83	120/ 70	70	7.91	55.28	49.4	180	186
			145								

8	DF	19	72.73	1.81	120/	45	9.81	54.23	59.4	171	171
			160		80						
9	DF	19	55.45	1.70	120/	52	6.19	55.67	59.5	168	172
			122		70						
10	DF	19	59.09	1.65	130/	60	6.19	57.67	72.9	162	160
			130		70						
11	DF	19	66.36	1.70	110/	40	7.67	55.96	61.1	163	171
			146		60						
12	MD	19	61.36	1.78	110/	70	5.69	57.37	49.3	175	173
			135		60						
13	MD	18	65	1.76	120/	57	10.15	53.30	56	161	166
			143		70						
14	MD	18	55.45	1.58	90/	56	11.07	53.32	68.9	157	156
			122		70						
15	MD	17	61.82	1.63	130/	75	9.33	55.23	46.5	147	162
			136		70						
16	MD	18	62.73	1.75	110/	56	7.05	56.05	69.5	156	171
			138		60						
17	MD	17	74.55	1.77	140/	60	10.94	53.35	54.4	177	183
			164		60						
18	DL	19	66.36	1.69	120/	61	6.93	57.42	76.9	145	144
			146		60						
19	DL	18	65.91	1.65	100/	48	7.78	56.74	63.9	161	169

			145		70						
20	DL	19	68.18	1.71	150/	70	10.73	54.59	72	161	168
			150		70						

Nomenclatura:

P- Posición.

E- Estatura.

PA- Presión arterial.

FCR- Frecuencia Cardíaca.

GR- Porcentaje de grasa corporal.

MU- Porcentaje de masa muscular.

VO2 Max- Consumo máximo de oxígeno.

UA V- Umbral anaeróbico de la prueba ventilatorio.

UA C- Umbral anaeróbico de la prueba Conconi.

ANEXO 4

Hoja de recolección de datos.

Nombre: _____

Deporte: _____

Posición: _____

Edad: _____

Estatura (E) (cm): _____

Presión arterial (P.A) (Mm/ Hg): _____

Frecuencia cardiaca en reposo (F.C) (Pul x min): _____

Peso (Kg) (Lb): _____

Pliegues de grasa (mm).

Suprailíaco _____

Abdominal _____

Pectoral _____

Axilar _____

Porcentaje de grasa (GR %): _____

Porcentaje de músculo (MU %): _____

Diámetros (mm).

Muñeca: _____

Rodilla: _____

Prueba ventilatoria.

Umbral anaeróbico (UA V) (F.C): _____

Prueba de Conconi

Umbral anaeróbico (UA. C) (F.C): _____

Consumo máximo de oxígeno (VO2 Max) (ml/kg/min): _____

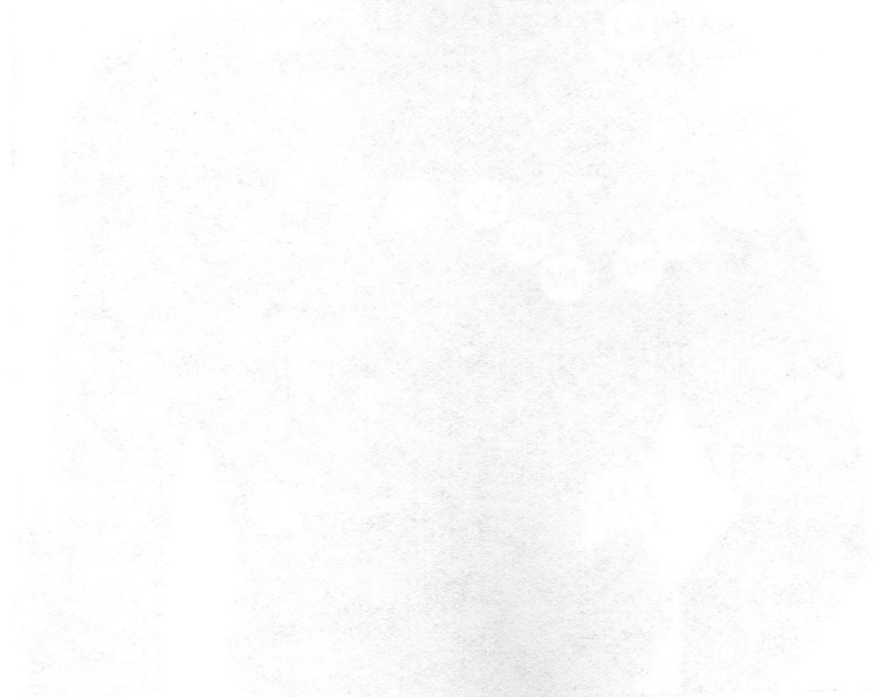


Figura 1. Posición de los cables de 12-lead Placement Sites
Tabla 1. Posición de los cables de 12-lead Placement Sites and Color Codes

LEAD	LEAD WIRE NAME (LABEL)	PATIENT CATHETER
V1	V1	Right
V2	V2	Right
V3	V3	Right
V4	V4	Right
V5	V5	Left
V6	V6	Left
RA	RA	Right
LA	LA	Left
LL	LL	Left
RL	RL	Right

ANEXO 5

Colocación de electrodos (Standar Cabrera)

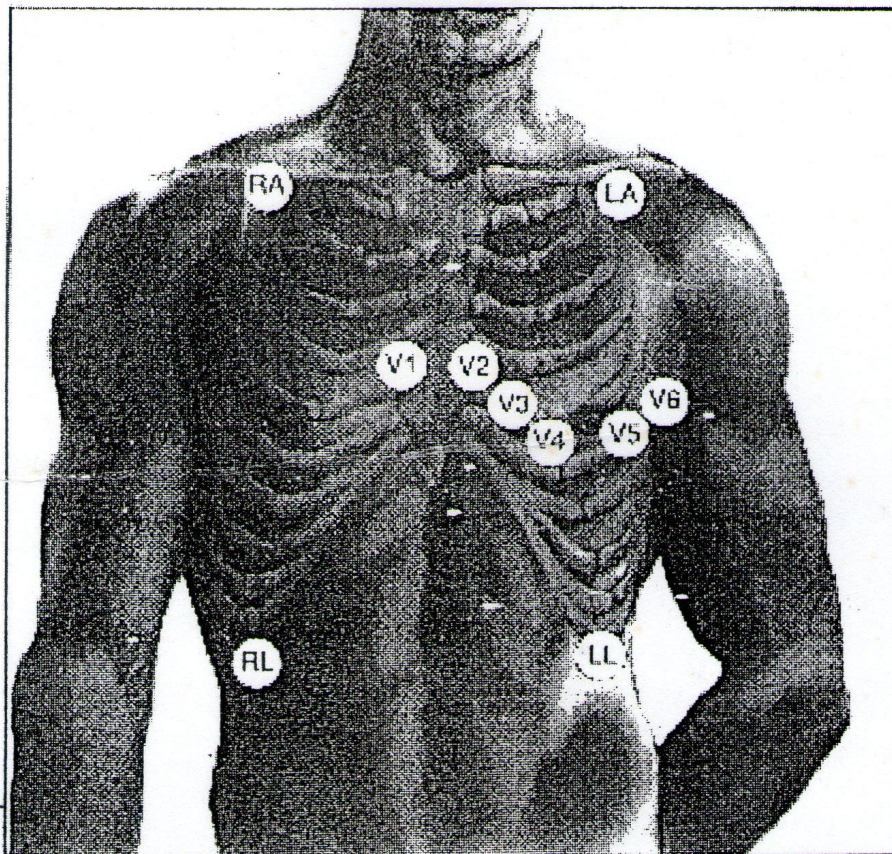


Figure 3-5. Standard/Cabrera 12-lead Placement Sites

Table 3-1. Standard/Cabrera Sites and Color Codes

SITE (Figure 3-7)	LEAD WIRE NAME (LABEL)	PATIENT CABLE COLOR CODE
V1	V1	Brown/Red
V2	V2	Brown/Yellow
V3	V3	Brown/Green
V4	V4	Brown/Blue
V5	V5	Brown/Orange
V6	V6	Brown/Violet
RA	RA	White
LA	LA	Black
LL	LL	Red
RL	RL	Green