

Transición aeróbica - anaeróbica

*José Carlos Giraldo T. MD
Esp. Medicina Deportiva
Mg en Fisiología*

*Carlos Eduardo Nieto G. MD
Esp. Medicina Deportiva
Esp: Salud Ocupacional*

La **transición aeróbica-anaeróbica** =
aumento de la concentración de lactato en
sangre (ejercicio físico de intensidad progresiva) =
aporte inadecuado de oxígeno a los
músculos metabólicamente activos
durante esa actividad.



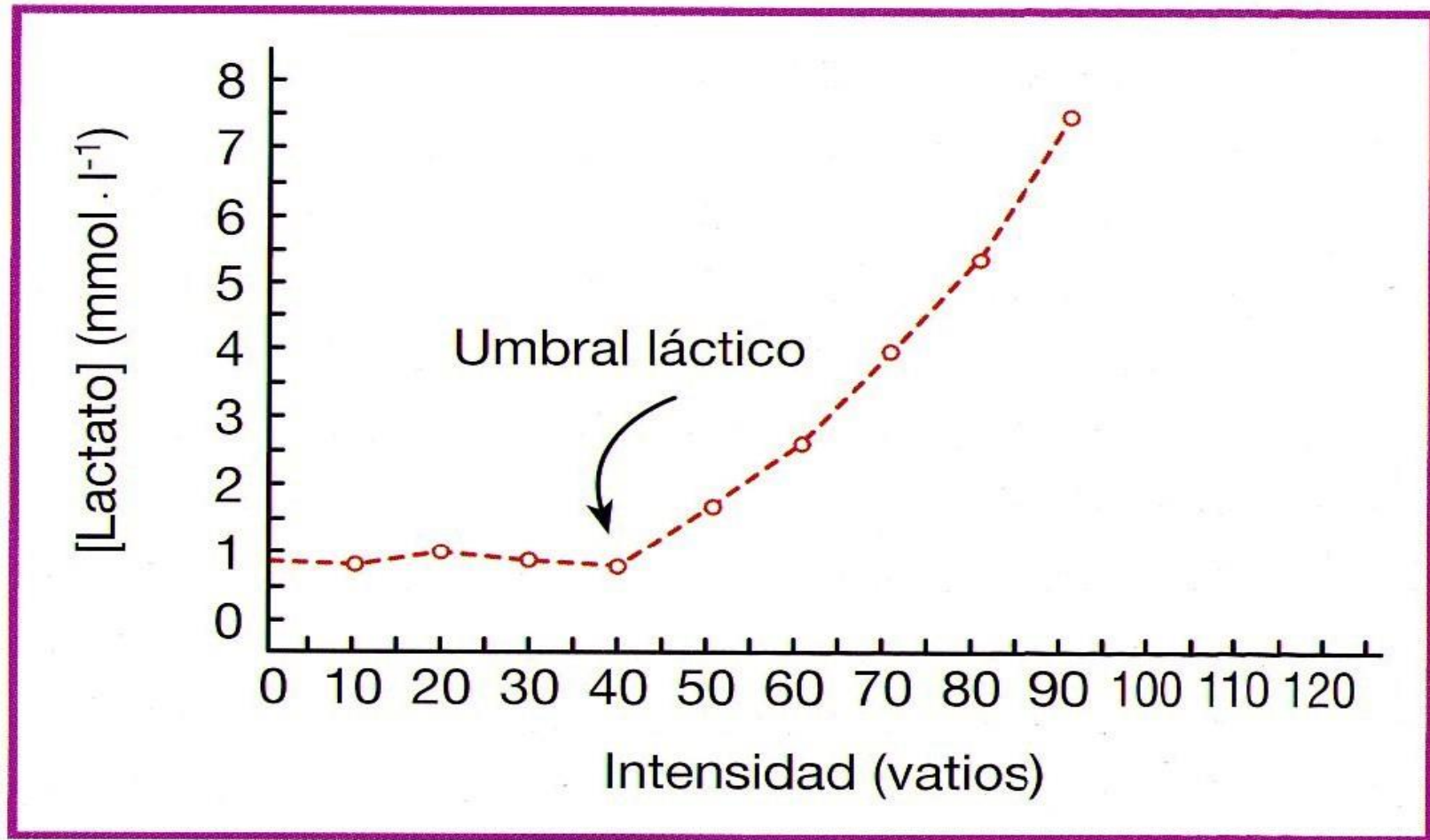
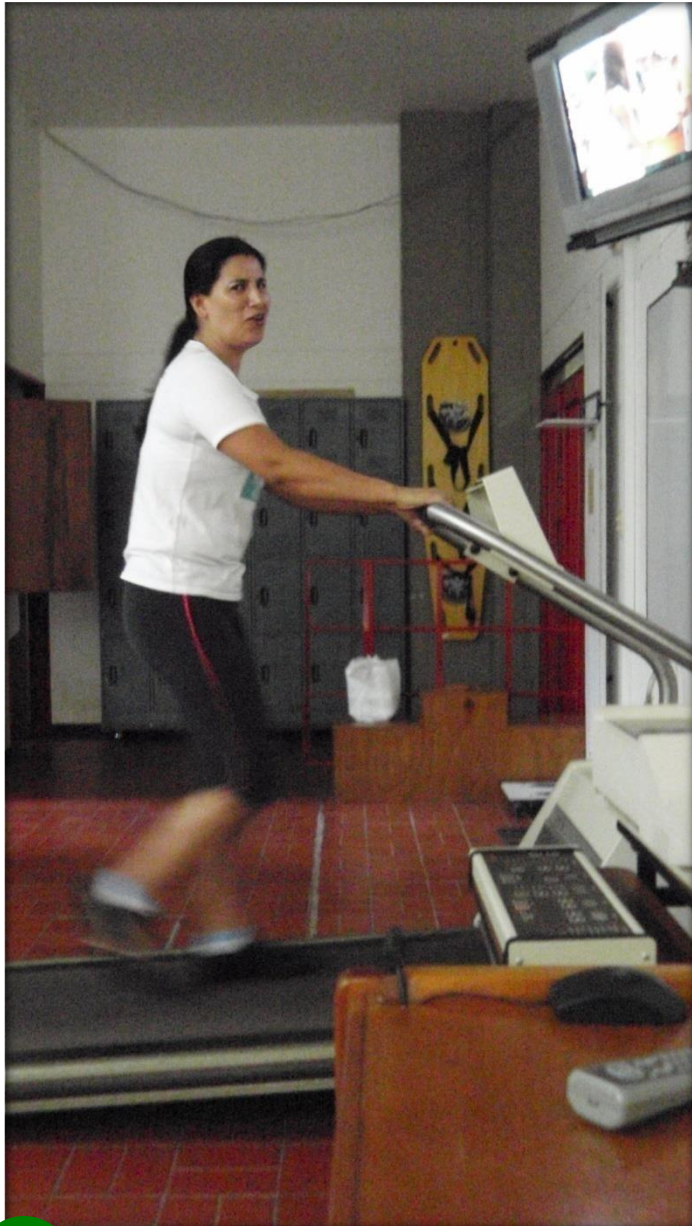


Figura 25.1. Comportamiento de la concentración de lactato en sangre en el transcurso de un ejercicio de tipo incremental. Se observa una respuesta bifásica en relación con la intensidad del ejercicio.



Cargas de trabajo superiores a una determinada intensidad, la energía requerida para desarrollar el ejercicio físico exigido deriva de las fuentes: aeróbicas + fuentes anaeróbicas, especialmente de la **glucólisis anaeróbica,** (aumento AL).

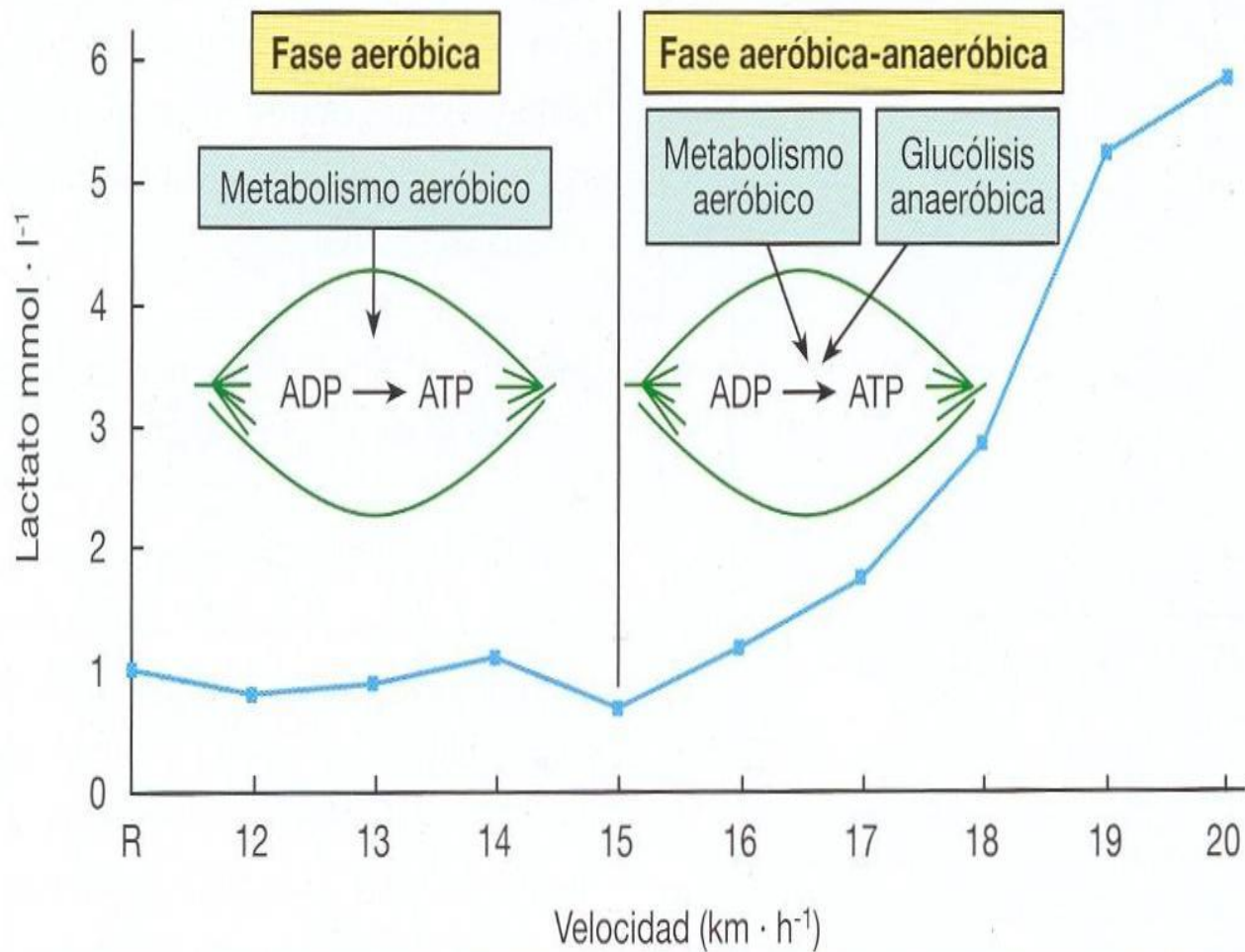


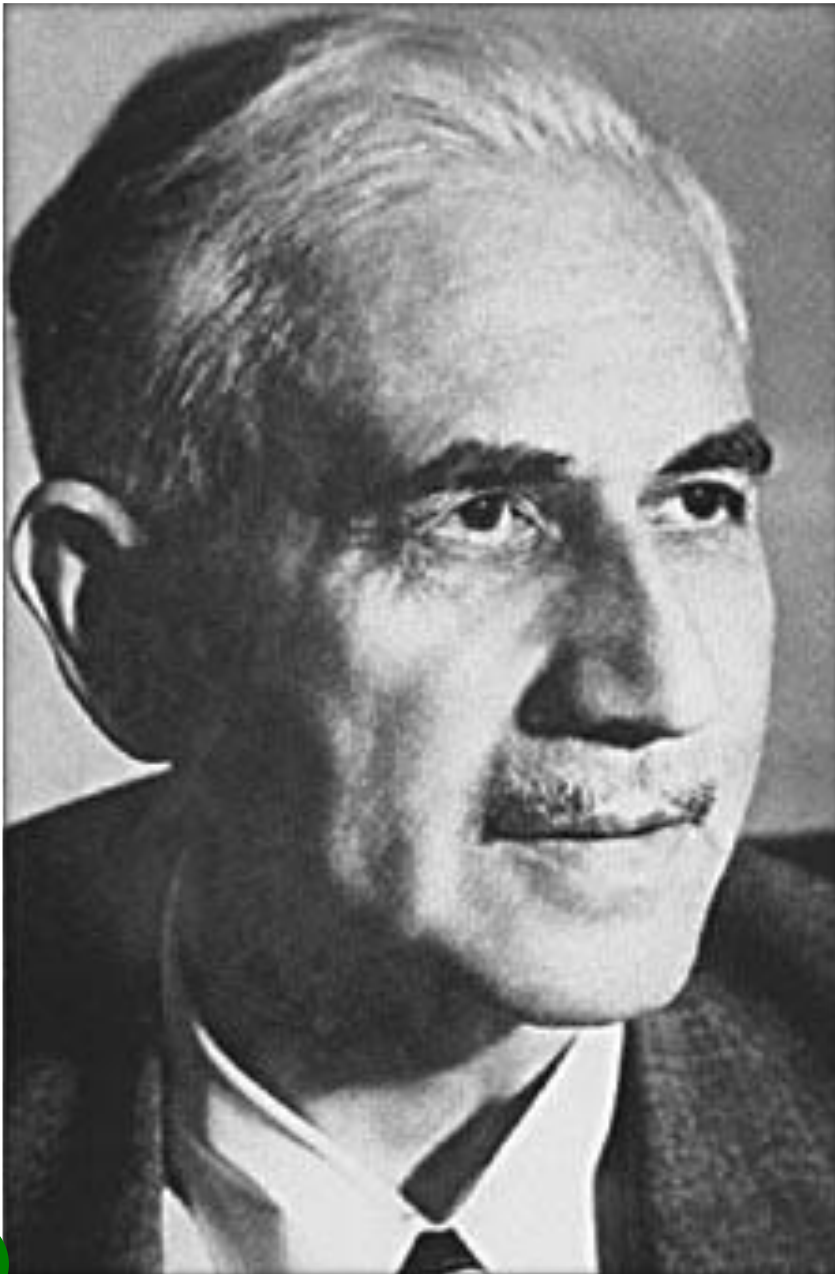
Figura 25.2. Participación de los sistemas energéticos aeróbico y anaeróbico (glucólisis anaeróbica) durante un ejercicio incremental en relación con el comportamiento de la concentración de lactato en sangre.

Historia del UA

- **Meyerhof (1911)**: fase aeróbica y fase anaeróbica; el ácido láctico dispara la contracción muscular.
- **Hill (1924)**: el déficit de aporte de oxígeno a los músculos aumentaba el lactato en sangre.
- **Douglas (1927)**: aproximación al concepto actual de UA
- **Heymans (1927)**: correlación del \dot{V}_E con la intensidad en la ventilación.

Trabajos de Meyerhof (1911),

Deducía la existencia de una fase aeróbica y de otra anaeróbica durante la contracción muscular, llegando a la conclusión de que era el ácido láctico el responsable de «disparar» la contracción muscular.



Meyerhof, Otto **(1884 - 1951).**

**Premio Nobel de
Medicina y Fisiología de
1922 con Archibald
Vivian Hill**

(Oxidación Celular, química muscular)

Hill y cols. (1924) demostraron que el incremento observado en la concentración de lactato en sangre se debía a un déficit en el aporte de oxígeno a los músculos activos.

Comprobaron la existencia de una correlación significativa entre la concentración de lactato en sangre y el consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$).

Douglas (1927) se aproximó al concepto actual de umbral anaeróbico, deduciendo de sus investigaciones que se podían desarrollar cargas progresivas de trabajo sin que llegara a acumularse ácido láctico en la sangre, pero que una vez que se alcanzaba una determinada intensidad de ejercicio la concentración sanguínea comenzaba a elevarse de forma progresiva.



Douglas **Afirmó** que la **formación de ácido láctico** en los **músculos activos** estaba **determinada** por la **disponibilidad o no de oxígeno** en los **músculos**.

Primera aproximación al
denominado (Posteriormente)
umbral ventilatorio,
Corneille Heymans (1927)
al comprobar que las
concentraciones de
lactato en sangre
mostraban una gran
correlación con la
intensidad de la
ventilación pulmonar.



Nobel Prize for
Physiology or Medicine
in 1938

Owles (1930) observó que era posible desarrollar ejercicios de intensidad moderada sin que aumentara la concentración de lactato en sangre, pero que por encima de una intensidad de ejercicio, «única para cada persona», se producía un incremento progresivo en dichas concentraciones.



Historia del UA

- **Owles (1930)**: “nivel metabólico crítico”, por encima del cual se produce aumento de la $[La^-]$ en sangre; describe además su asociación con la reducción del HCO_3^- .
- **Hollman (1959)**: relación entre el punto de máxima eficiencia respiratoria y capacidad de resistencia en ejercicios de larga duración.

Historia del UA

Wasserman y Mc Ilroy (1964),

Examinaron la posibilidad de detectar la intensidad de ejercicio a partir de la cual el metabolismo anaeróbico comienza a participar de manera importante en el aporte energético al músculo, con la finalidad de evitar intensidades de ejercicio agotadoras y potencialmente peligrosas en pacientes cardíacos.

Historia del UA

- **Wasserman y Mc Ilroy (1964):** el inicio del metabolismo anaeróbico puede ser detectado:
 - A) Aumento de la $[La^-]$ en sangre
 - B) $\downarrow [HCO_3^-]$ y del pH.
 - C) \uparrow RER
- Definieron umbral de metabolismo anaeróbico, como *“la carga de trabajo o consumo de oxígeno a partir de la cual se comienza a instaurar un estado de acidosis metabólica y ocurren cambios asociados en el intercambio gaseoso”*.

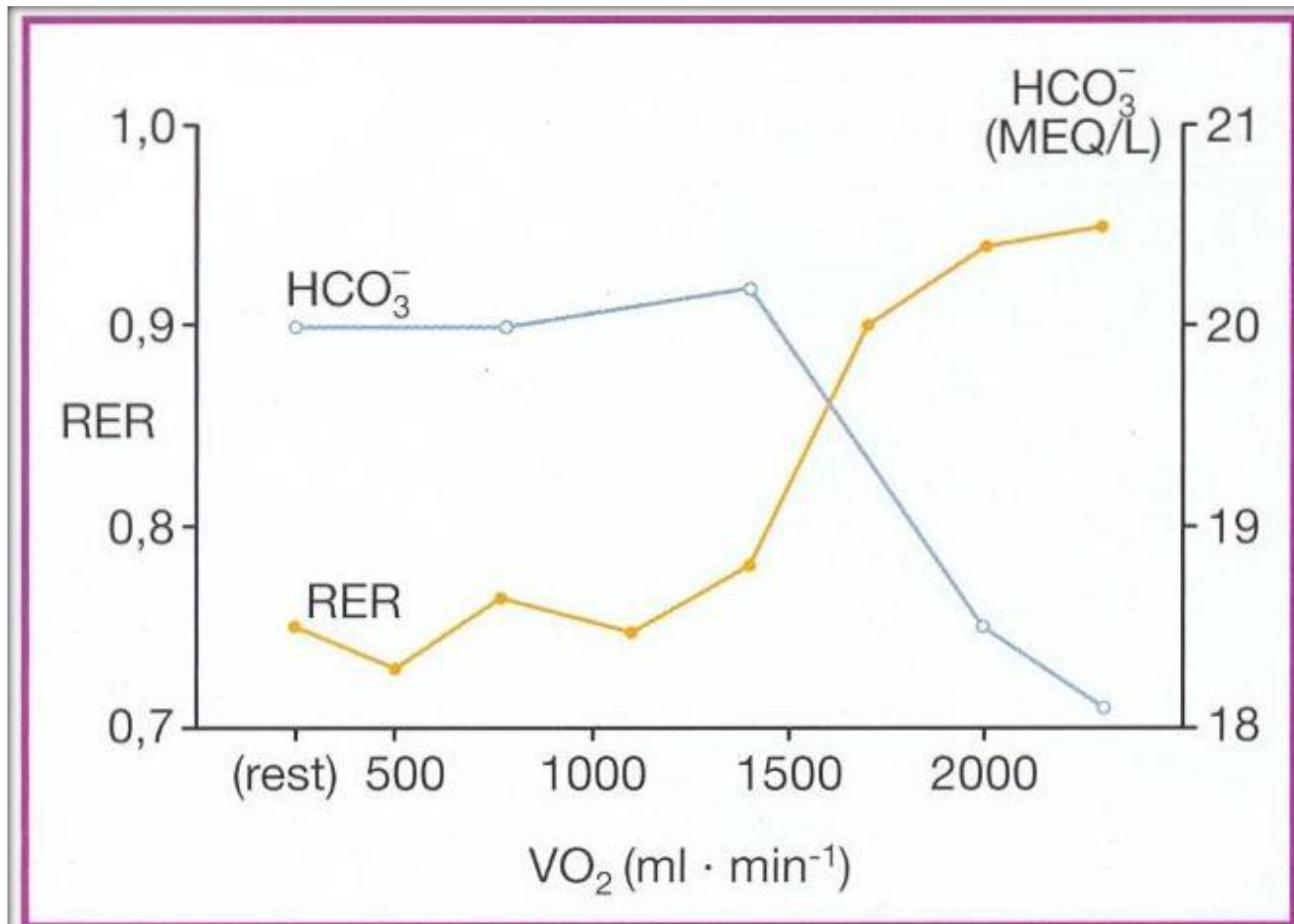


Figura 25.3. Cambio en el cociente respiratorio (RER) y bicarbonato (HCO₃⁻) durante un test incremental en un paciente de 20 años asintomático con un defecto septal ventricular. (Modificada de Wasserman K, McIlroy MB. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am M Cardiol*, 1964; 14:844-852.)

Owles

Fue el primer autor en establecer la existencia de un «nivel metabólico crítico», más tarde denominado «punto de Owles», por encima del



cual se producía el aumento de la concentración de lactato en sangre.

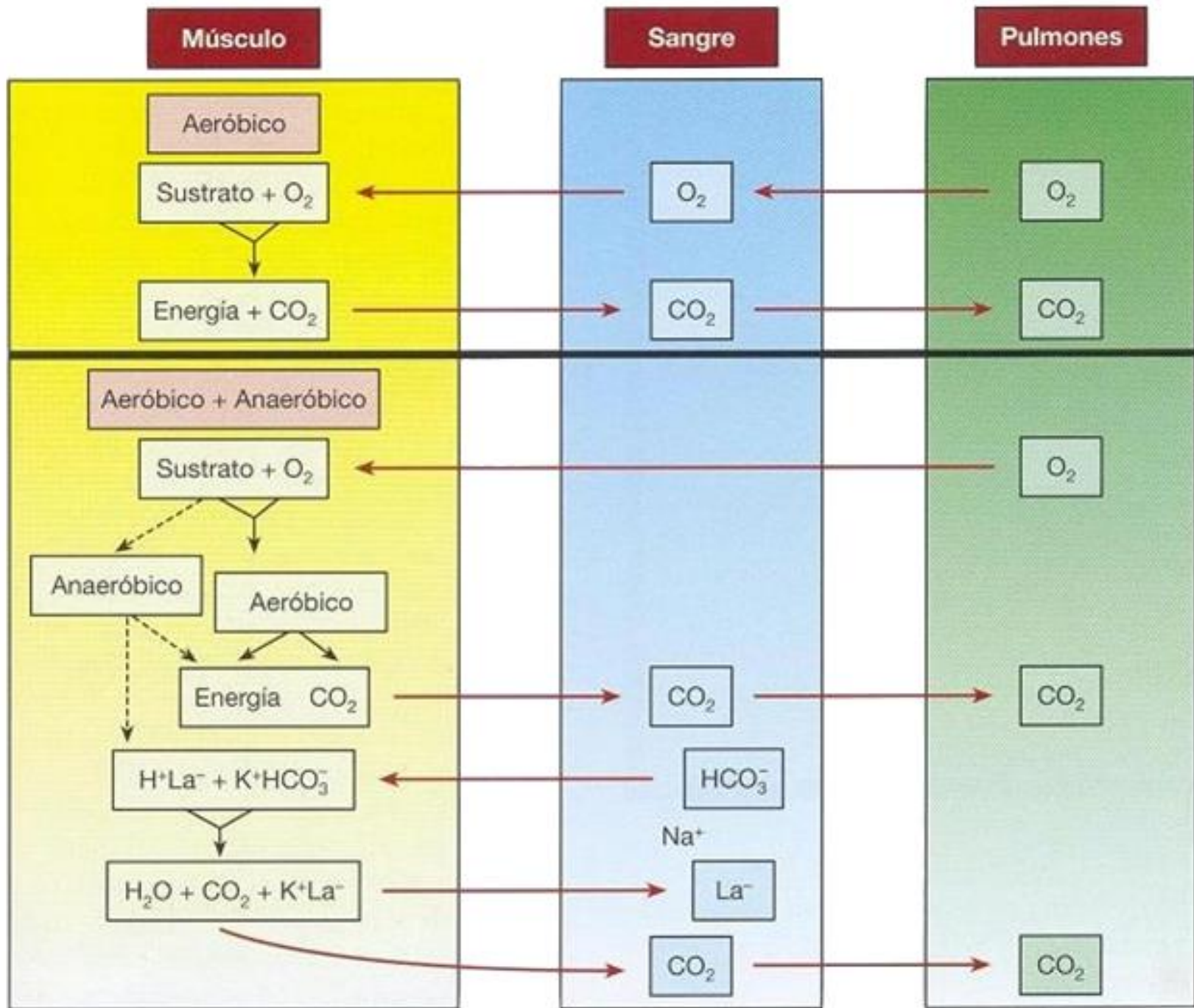


Tabla 1
Terminología utilizada en relación a la transición
aeróbica-anaeróbica

Umbrales que indican el comienzo de la producción de lactato:

- Punto de óptima eficiencia respiratoria (Hollman, 1959)
- Umbral de metabolismo anaeróbico (Wasserman y McIlroy, 1964)
- Umbral aeróbico (Kindermann y cols., 1979)
- Transición anaeróbica individual (Pesenhofer y cols., 1981)
- OPLA (inicio del acumulo de lactato en plasma) (Farrell y cols., 1979)
- Umbral láctico (Davis y cols., 1976)
- Umbral ventilatorio 1 (VT1) (Orr y cols., 1982)

Umbrales que indican un máximo estado estable del lactato en sangre:

- Umbral aeróbico-anaeróbico (Mader y cols., 1976)
- Umbral anaeróbico (Kindermann y cols., 1979)
- IAT (umbral anaeróbico individual) (Keul y cols., 1979)
- Umbral anaeróbico individual (Stegmann y cols., 1981)
- OBLA (inicio del acúmulo de lactato en sangre) (Sjodin y Jacobs 1981)
- Umbral ventilatorio 2 (VT2) (Orr y cols., 1982)

Bases fisiológicas del umbral láctico

- **Katz y Sahlin (1990)**: producción de La^- en ejercicio submáximo debido a restringida disponibilidad de O_2 mitocondrial.
- **Richardson y cols (1998)**: demostró ausencia de variaciones en la $\text{PO}_{2\text{intr}}$ asociada a aumento de La^-
- El aumento del La^- está asociado con la estimulación simpática durante el ejercicio:

Según *Weltman (1995)*:

- **Ejercicio leve:** recluta fibras I, escasa estimulación simpática, escaso lactato
- **Ejercicio más intenso:** reclutamiento fibras tipo IIa y IIx, aumenta catecolaminas y producción de La^- , reduce aclaramiento de La^-
- Se ha visto un aumento de catecolaminas con un patrón similar al del La^- (*ver fig*).

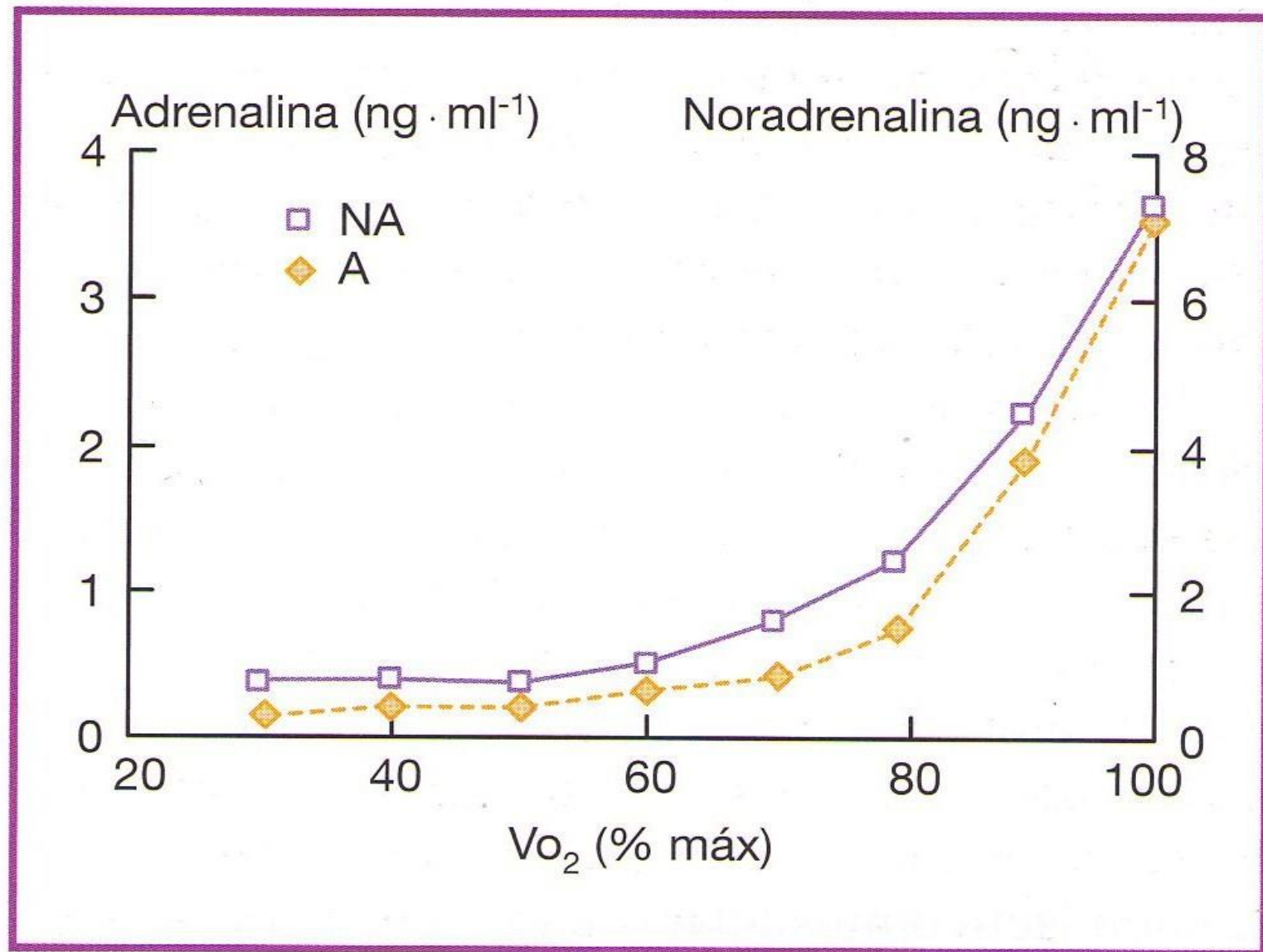


Figura 25.7. Comportamiento de la adrenalina y la noradrenalina durante un ejercicio incremental hasta el agotamiento.

Métodos de determinación de la transición aeróbica-anaeróbica mediante análisis de lactato

- El *umbral láctico* se define como la “intensidad de ejercicio o consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$) que precede inmediatamente al incremento inicial y continuo del lactato sanguíneo desde los valores de reposo” (*fig*).

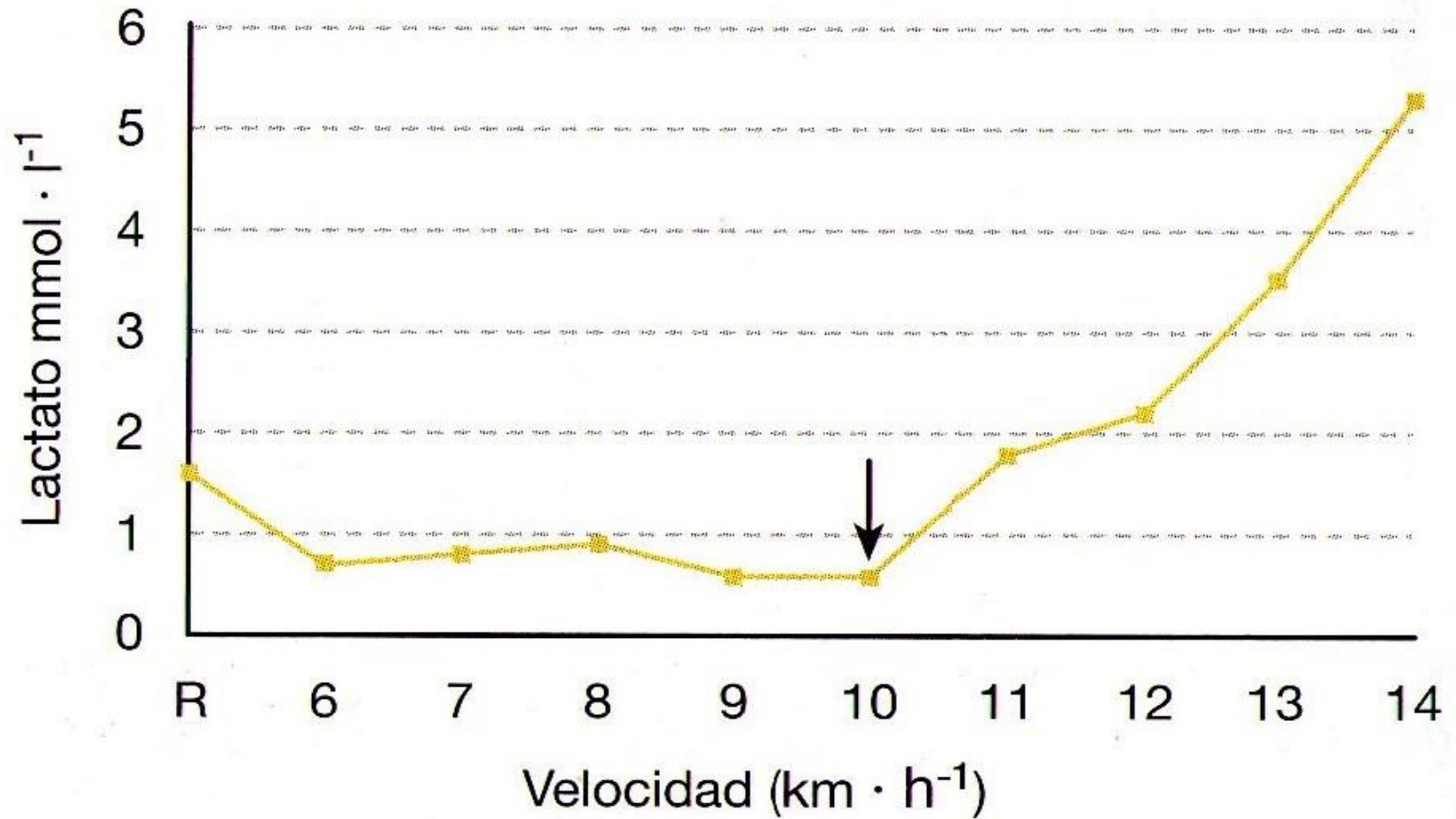
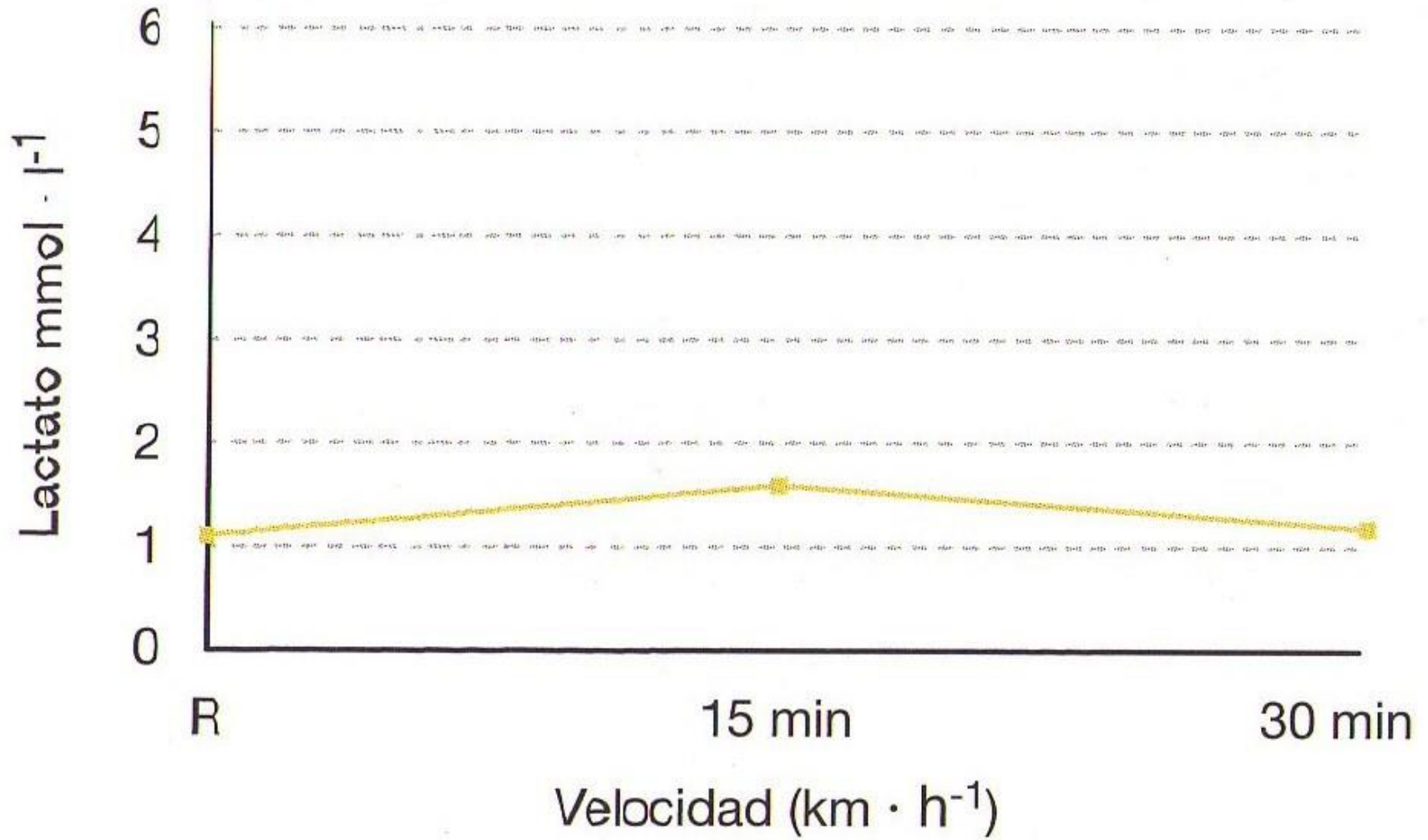


Figura 25.8. Determinación del umbral láctico en un test incremental en tapiz rodante (la flecha indica la velocidad correspondiente al umbral láctico).

Umbral de metabolismo anaeróbico:

= Carga de trabajo o consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$) a partir de la cual se comienza a *instaurar un estado de acidosis metabólica* y ocurren cambios asociados en el intercambio gaseoso.



Métodos de determinación

El umbral láctico (LT) se determina enfrentando

Concentración sanguínea de lactato

V_s

VO₂ y/ó intensidad (velocidad o W)

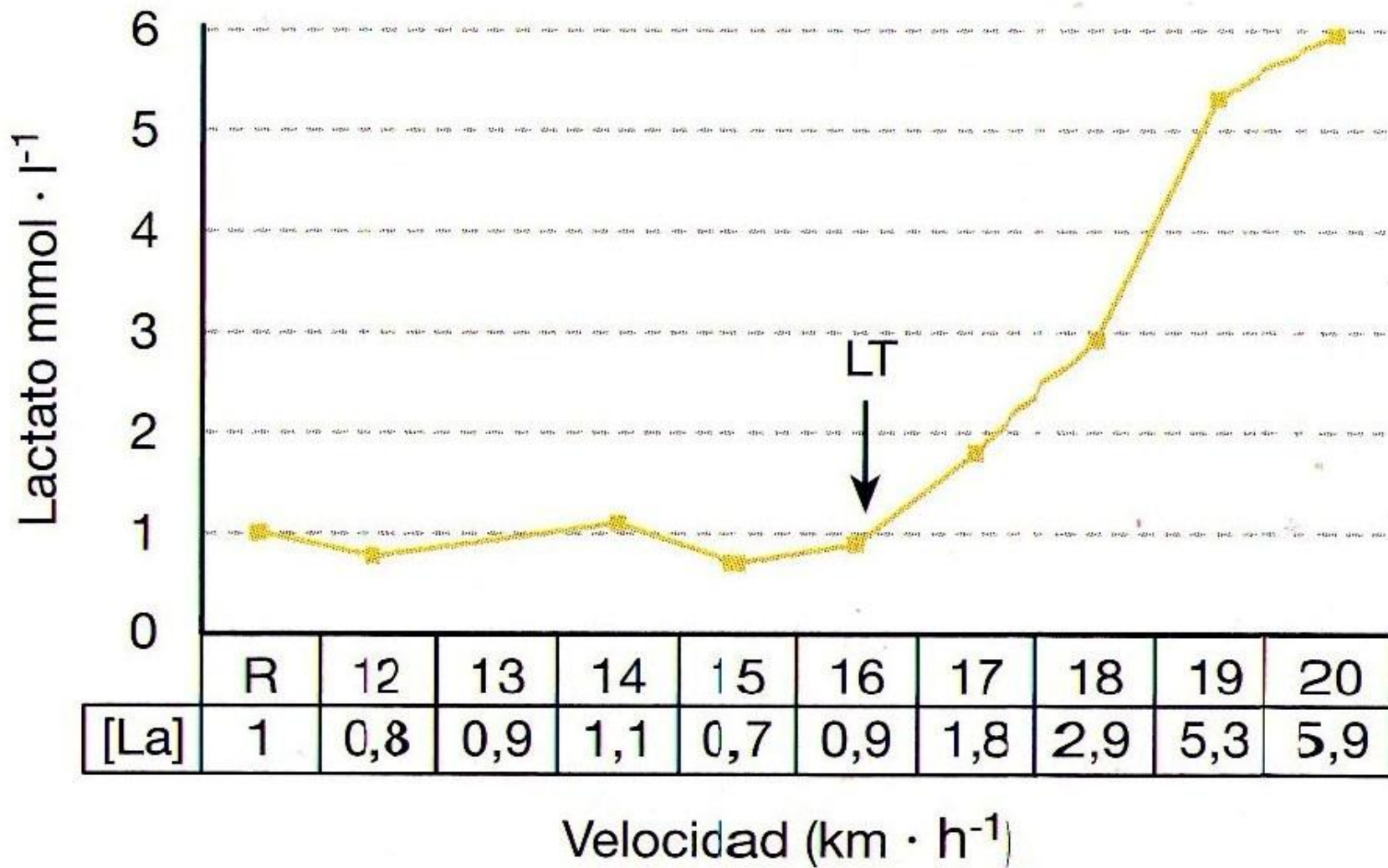


Métodos de determinación

El mayor valor de VO_2 o de intensidad de ejercicio que se obtiene antes del aumento progresivo de la concentración de lactato sanguíneo (obtenido al finalizar cada escalón de trabajo) se denomina *umbral láctico*.

Métodos de determinación

Se propone que el aumento sea superior a 0,5 milimol-L⁻¹ respecto a la toma anterior, para considerar un «punto de ruptura» en la curva de lactato.



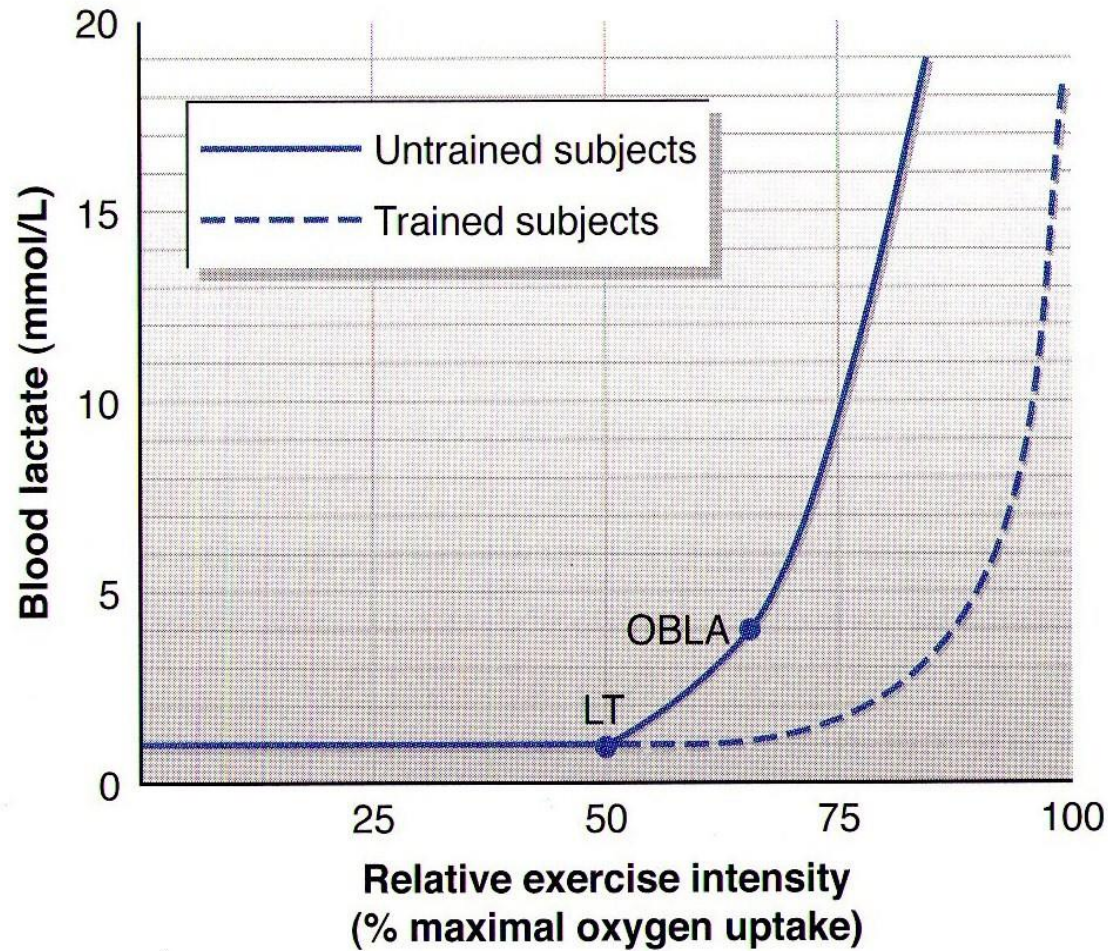


Figure 2.4 Lactate threshold (LT) and onset of blood lactate accumulation (OBLA).

Máximo estado estable del lactato o inicio del acúmulo de lactato en sangre (OBLA)

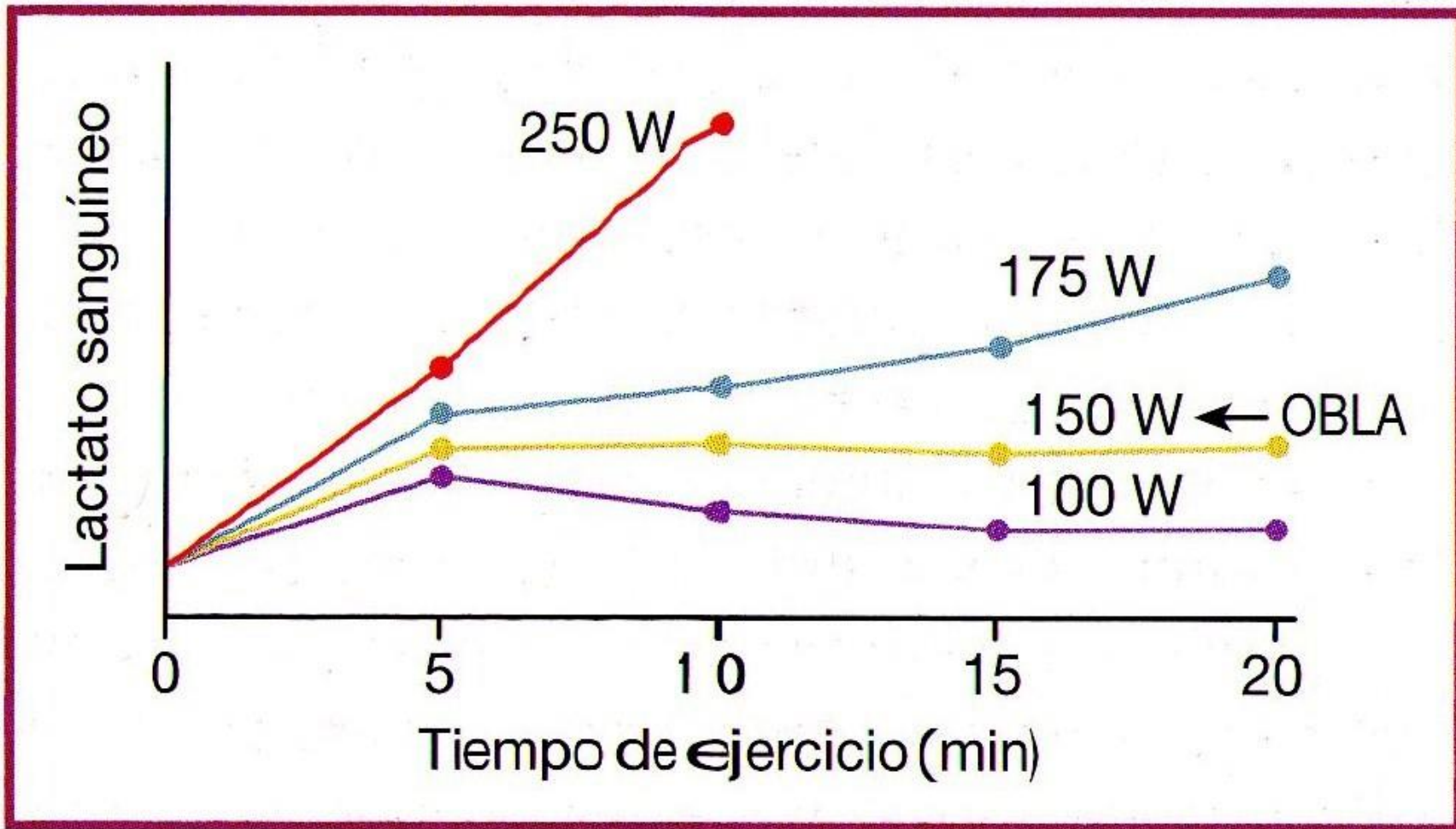


Figura 25.11. Ejemplo de determinación del OBLA.

Máximo estado estable del lactato (MLSS) o inicio del acúmulo de lactato en sangre (OBLA)

El OBLA expresa el nivel máximo de lactato en sangre compatible con un estado estable, es decir, el mayor VO_2 o intensidad de ejercicio que puede mantenerse durante tiempo prolongado sin un incremento continuado de la concentración de lactato sanguíneo, aun cuando su concentración es significativamente superior al reposo.

También es denominado *máximo estado estable del lactato (MLSS)*

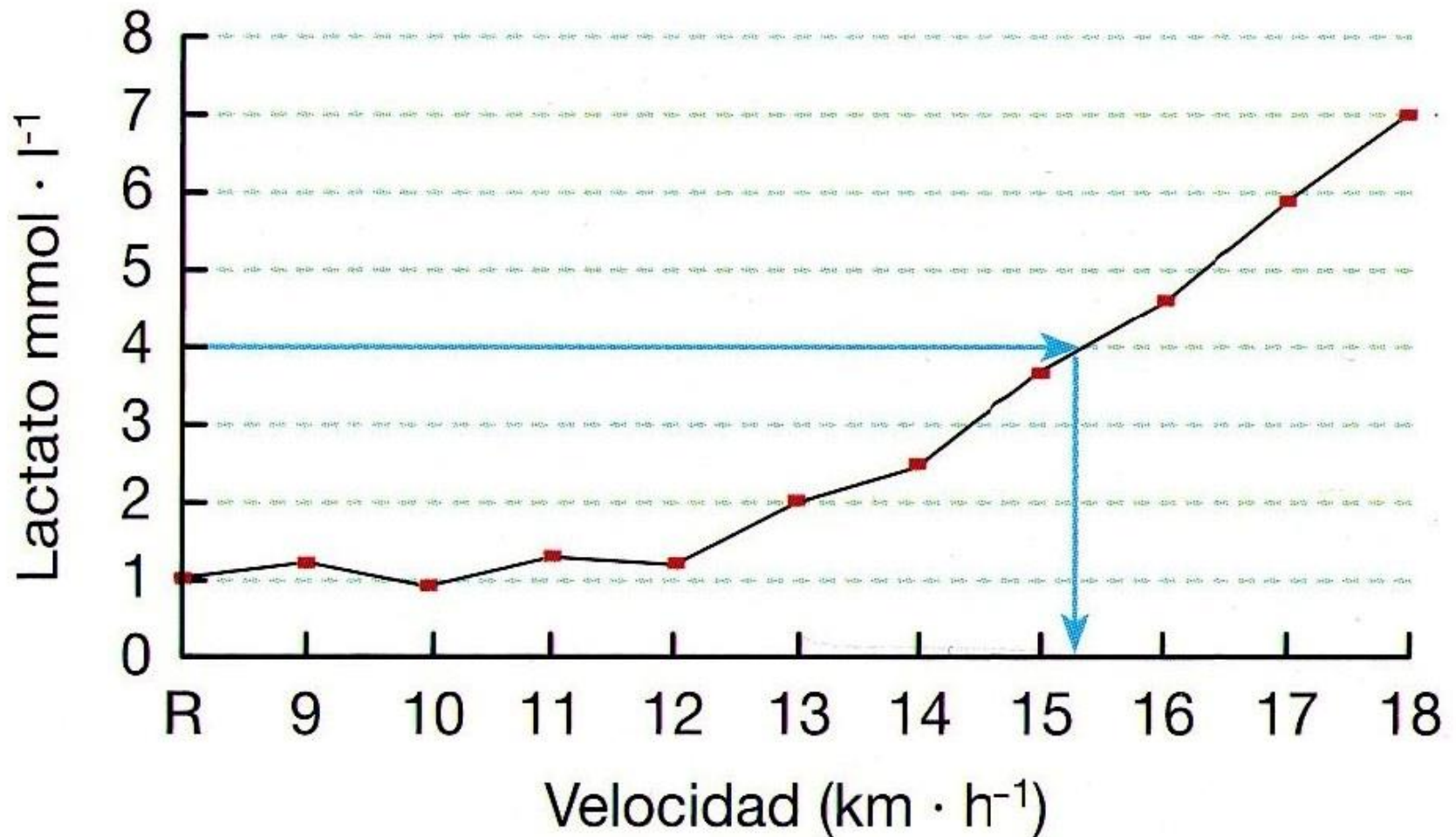


Figura 25.13. Determinación del OBLA mediante metodología de la concentración fija de lactato plasmático de $4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$.

el ácido láctico abandona la célula muscular, se disocia rápidamente a pH fisiológico (debido a su bajo pK (3,9), => liberación (H⁺); éstos son amortiguados por los sistemas tampón

El tamponamiento puede tener lugar en:

- 1.** Las propias células del músculo esquelético.
- 2.** En los hematíes.
- 3.** En el plasma

El tamponamiento puede ocurrir por:

- 1. Combinación con proteínas**
- 2. Por interacción con el sistema bicarbonato.**
- 3. Otros sistemas tampón menos importantes.**

Anhidrasa carbónica



Aproximadamente se forman 22 ml
de CO₂ por cada mEq de ácido
láctico amortiguado por el sistema
bicarbonato.

La consecuencia fisiológica:

=> Estimulación del centro respiratorio y el consiguiente aumento de la ventilación pulmonar

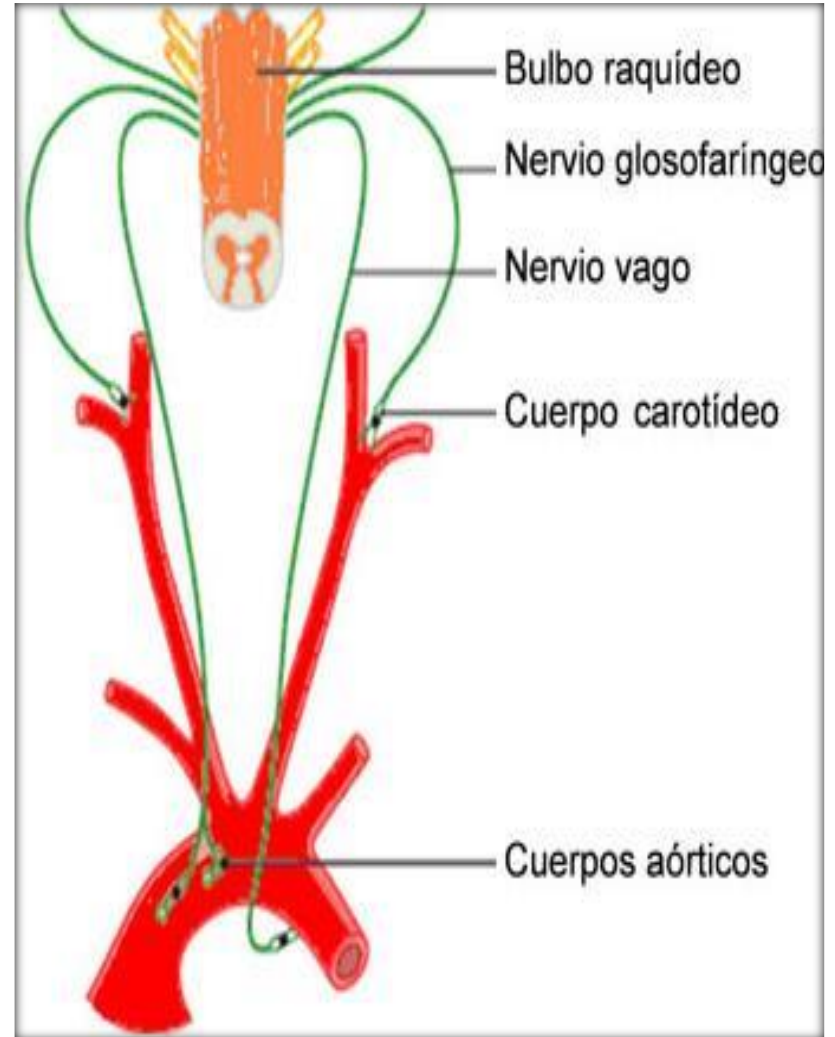
=> Eliminar CO_2 del organismo => regulación del pH durante el ejercicio.

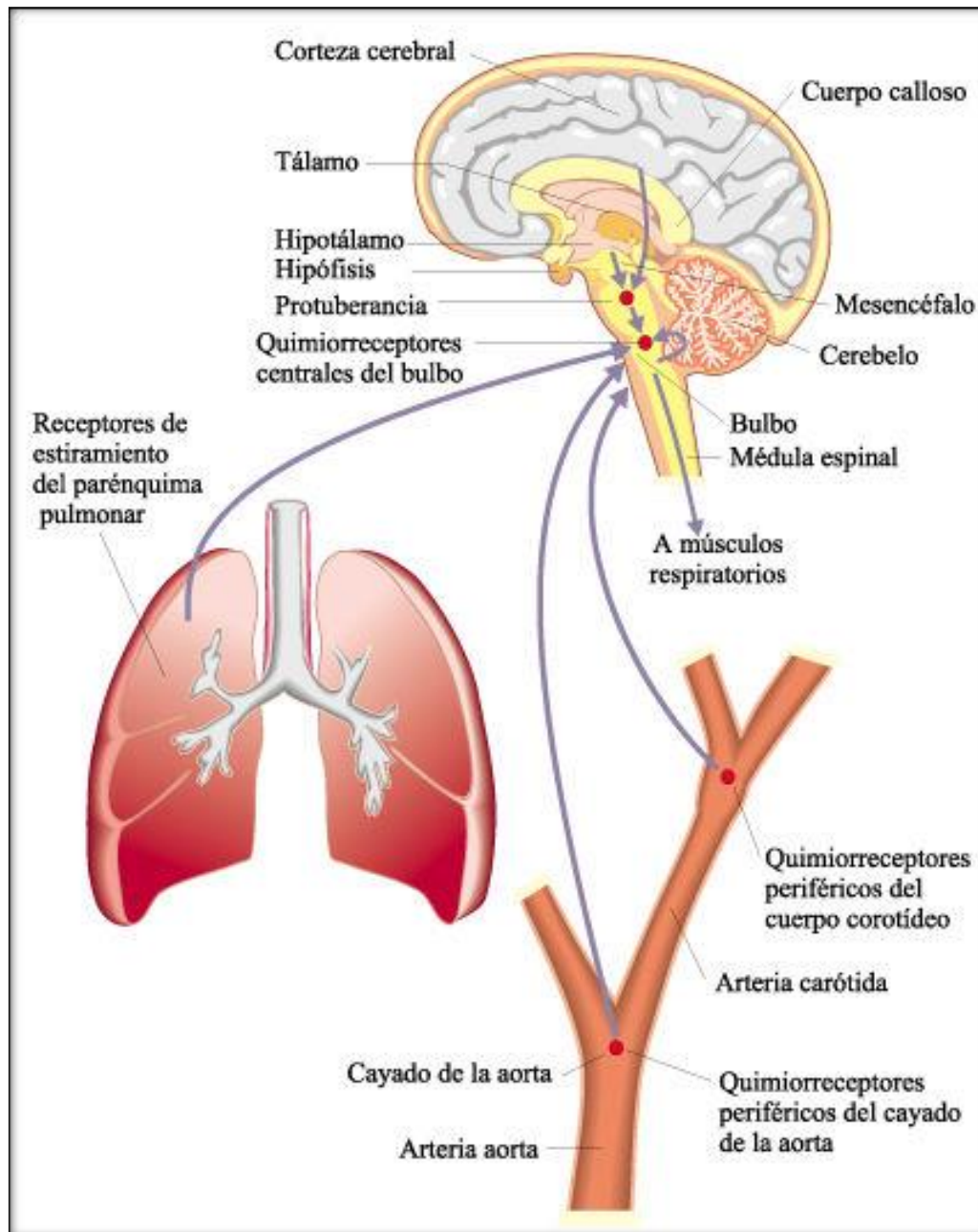
El pH de la sangre durante el ejercicio intenso descenderá

(acidosis metabólica),



estimulación
adicional del centro
respiratorio





Umbral ventilatorio: valoración de la transición aeróbica-anaeróbica mediante análisis del intercambio gaseoso

- **Wasserman (1984)** definió umbral anaeróbico como “el VO_2 medido durante el ejercicio, por encima del cual la producción aeróbica de energía es suplementada por mecanismos anaeróbicos” (*fig*).

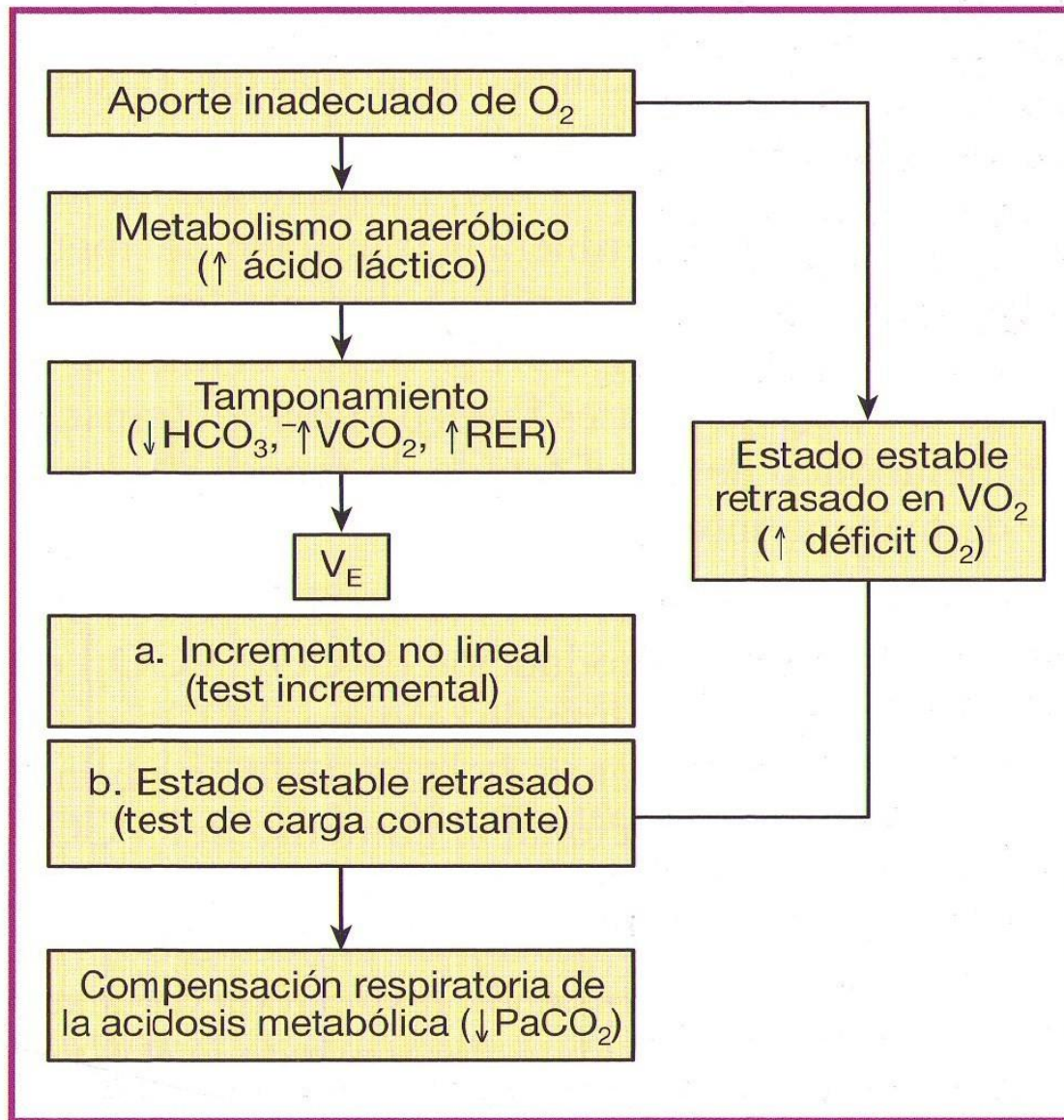
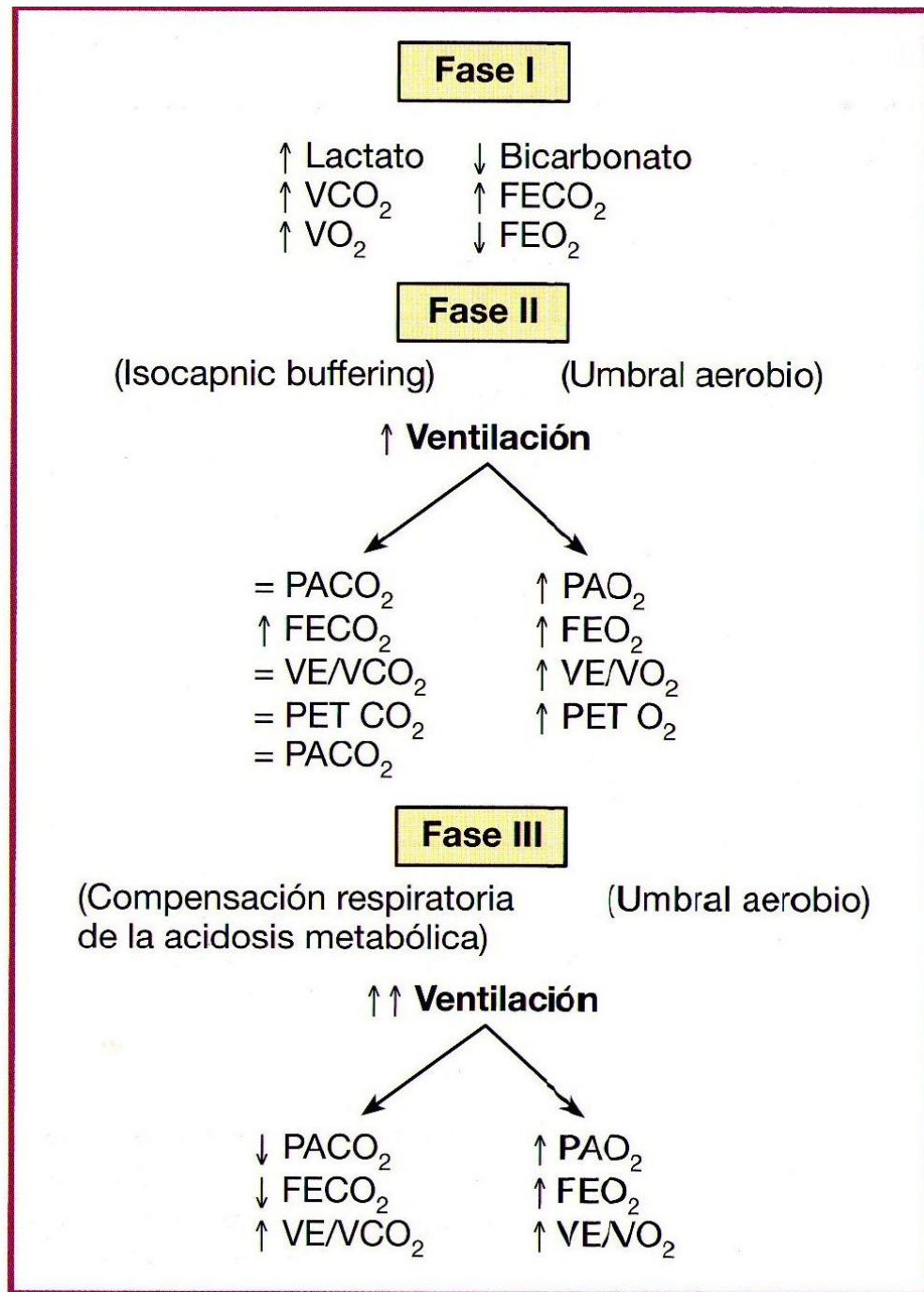


Figura 25.14. Modelo de las alteraciones en el intercambio gaseoso producidas al realizar un ejercicio a intensidad superior a la correspondiente al umbral láctico.

Modelo de cambios en el intercambio de fases durante un test incremental
(Skinner y McLellan, 1980)



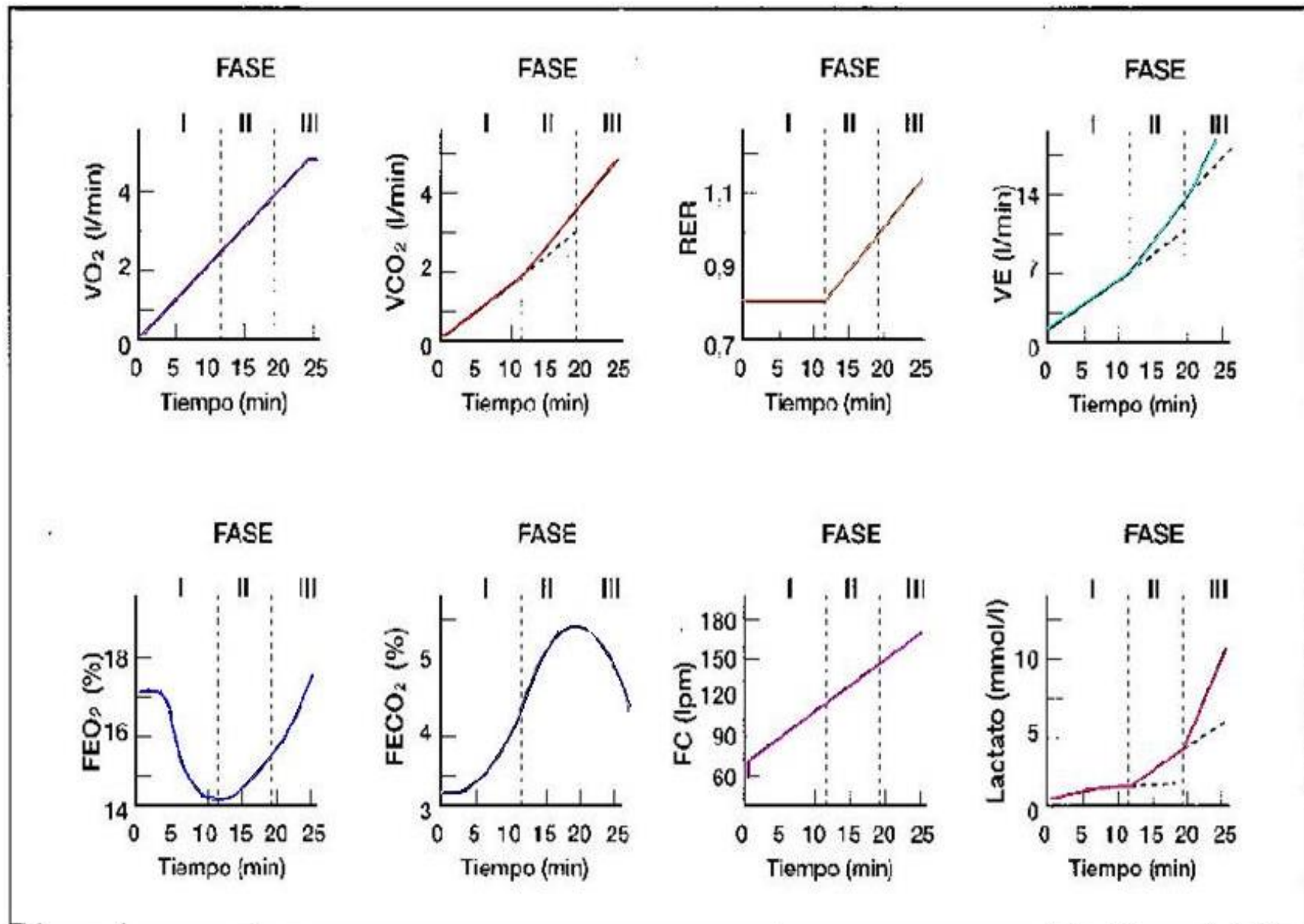
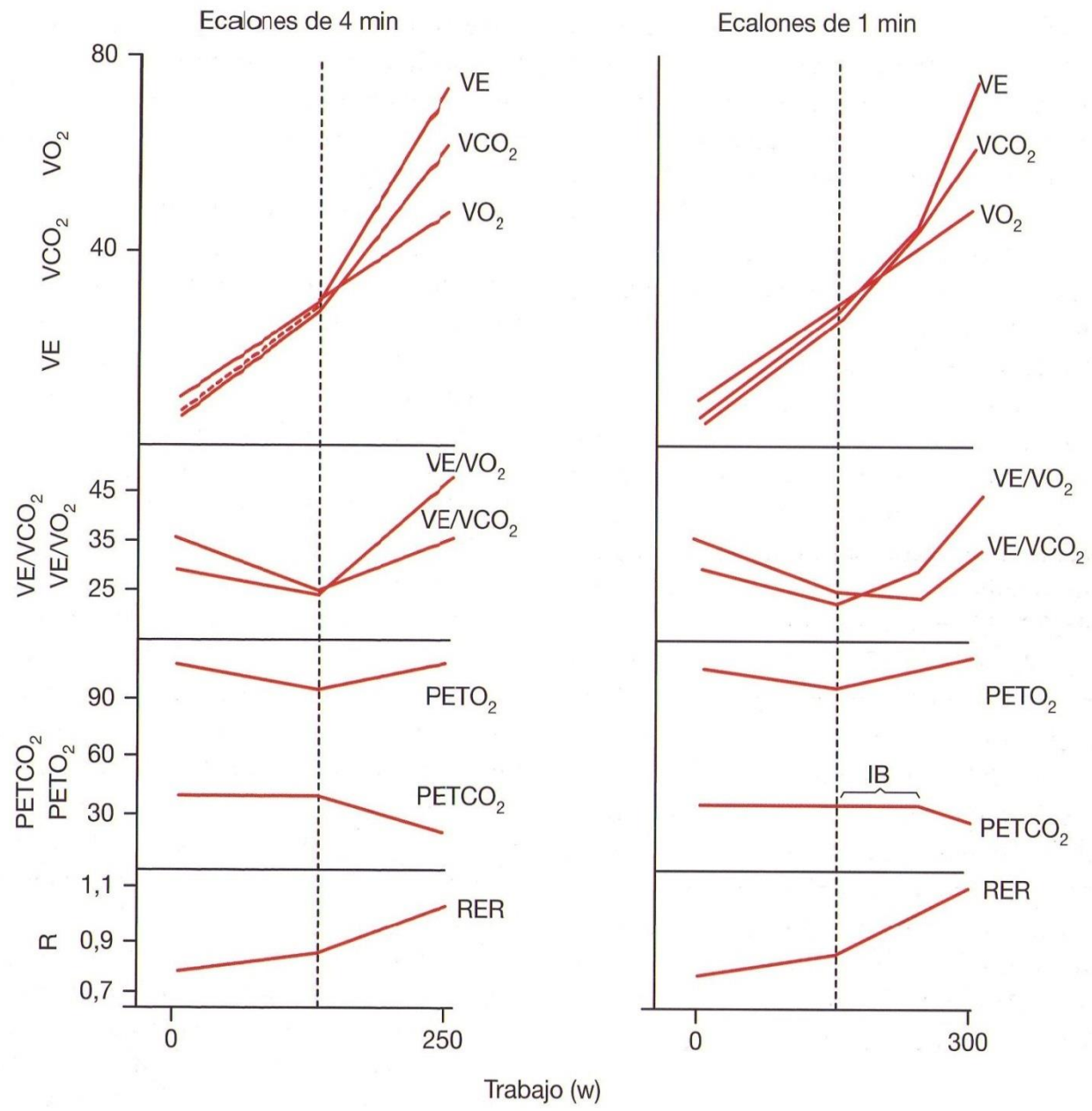
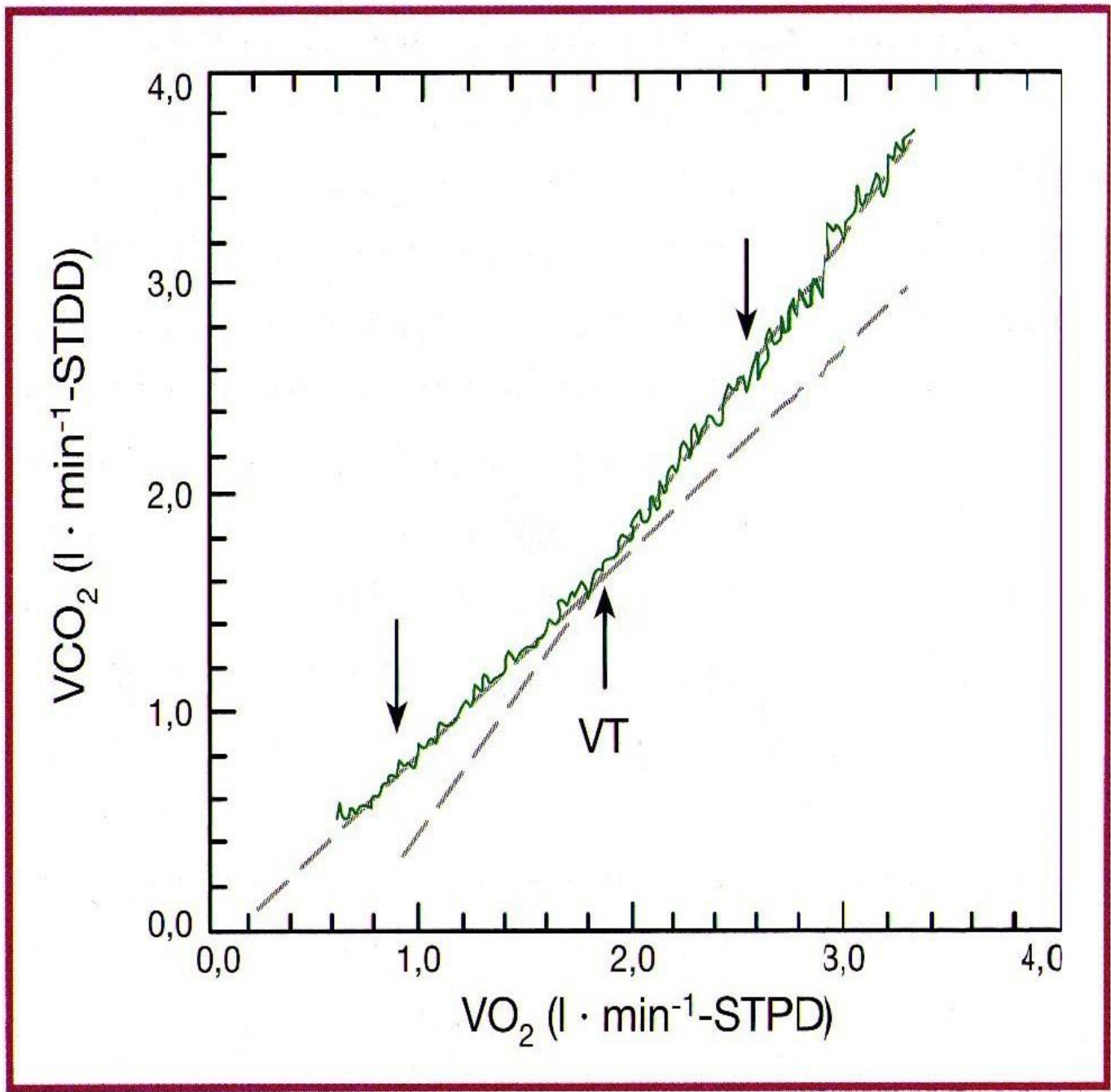


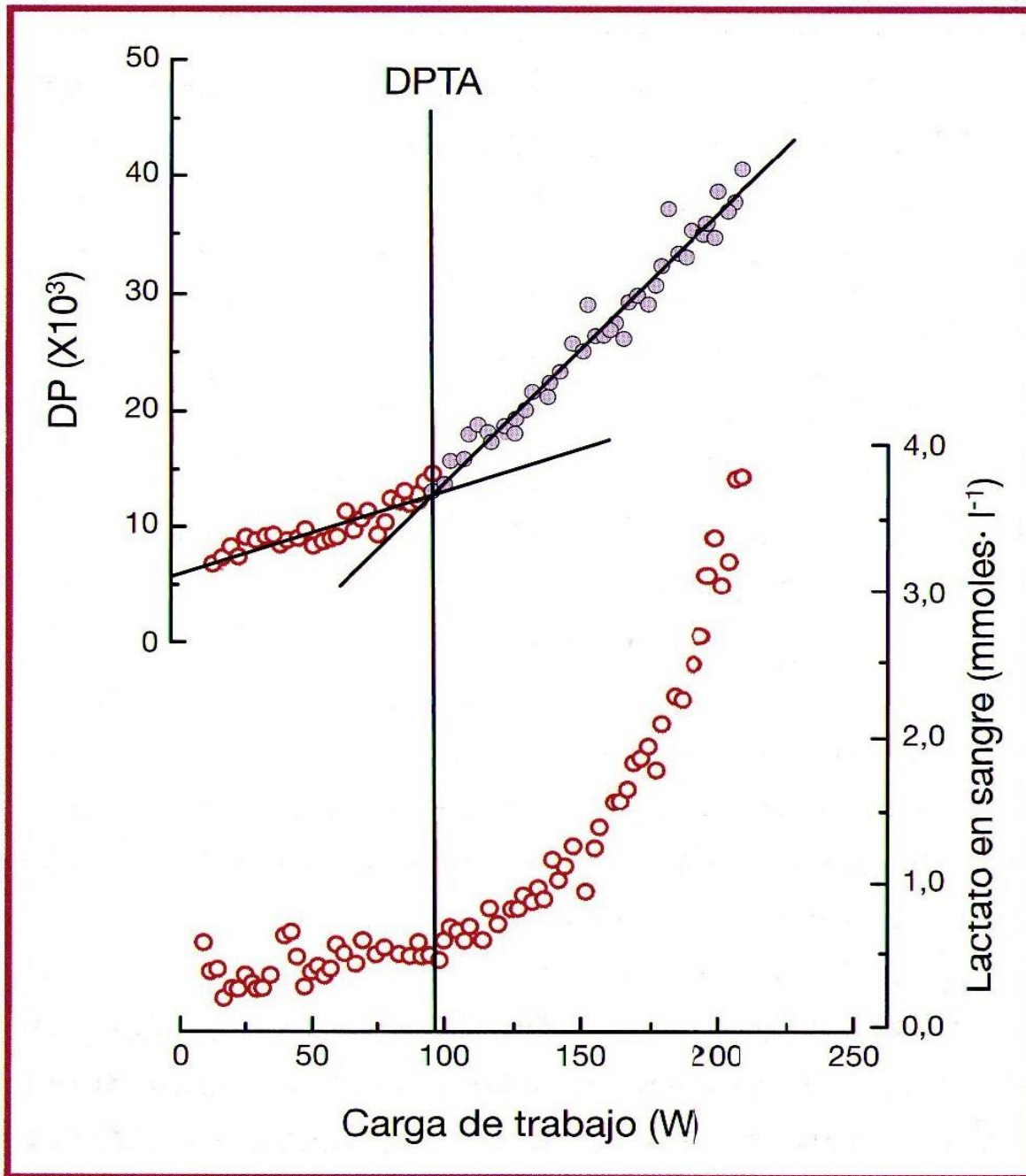
Figura 24.1. Representación esquemática de los cambios en distintos parámetros ergoespirométricos durante la realización de una prueba máxima incremental (modificado de Skinner y McEllan, 1980).

Cambios en los determinantes del UV en test incremental

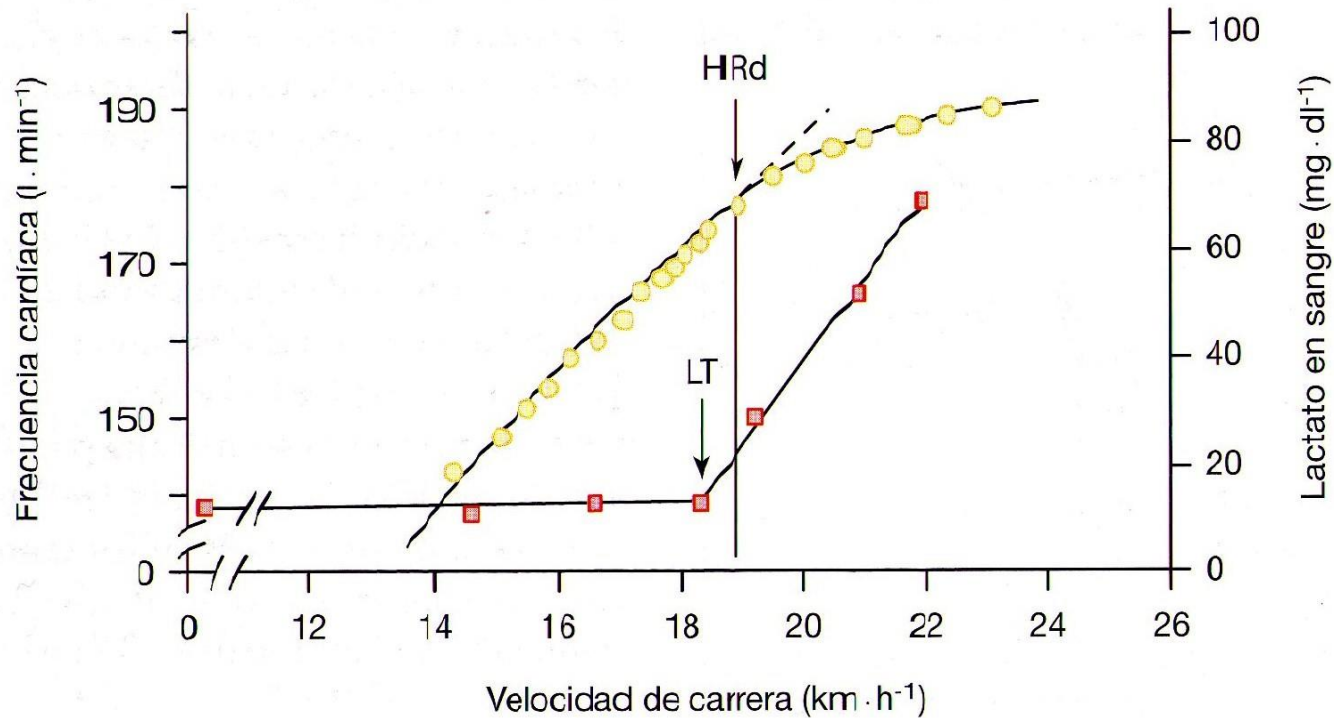


Determinación
del umbral
ventilatorio
(VT)
mediante
metodología
V-slope

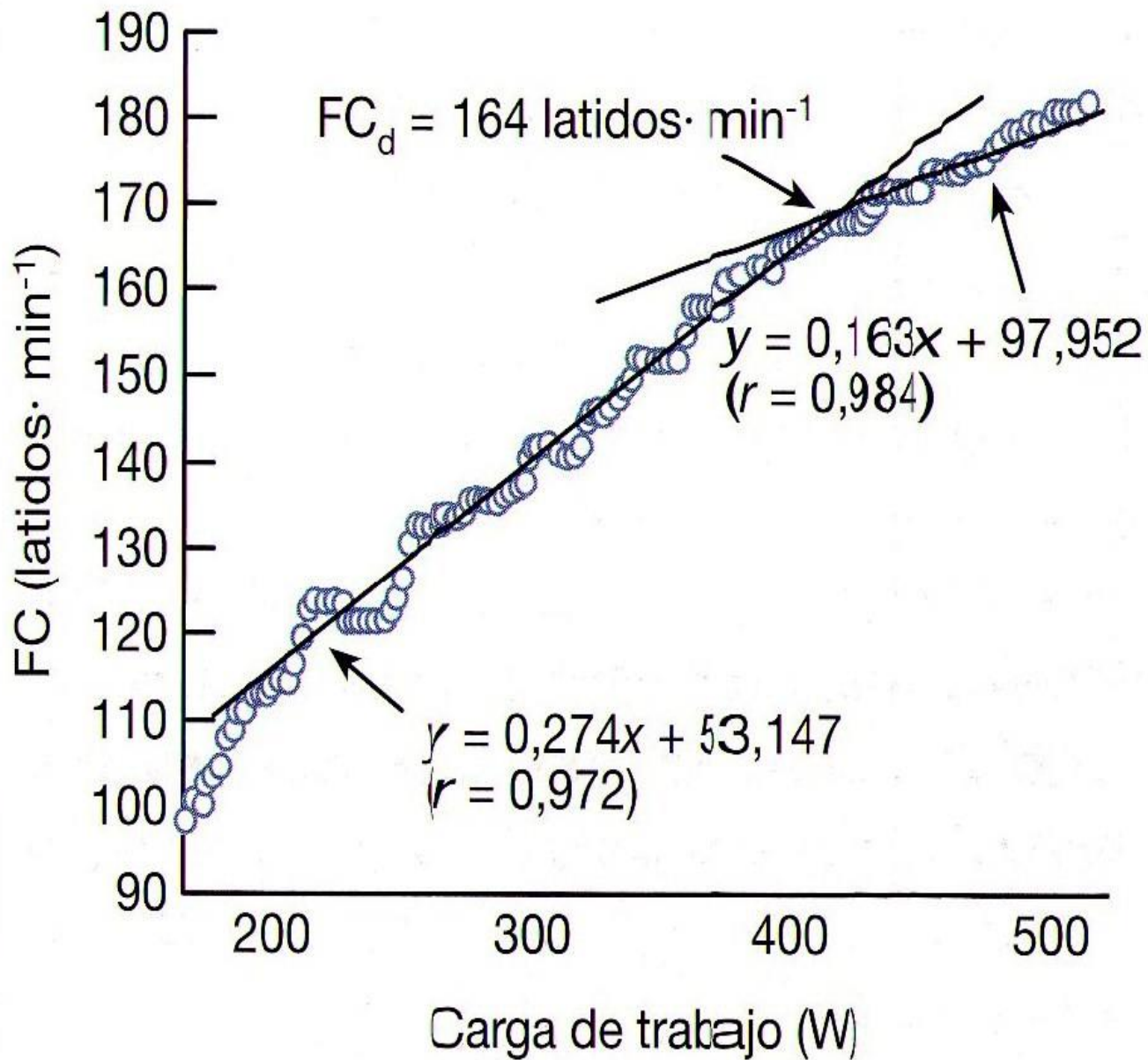




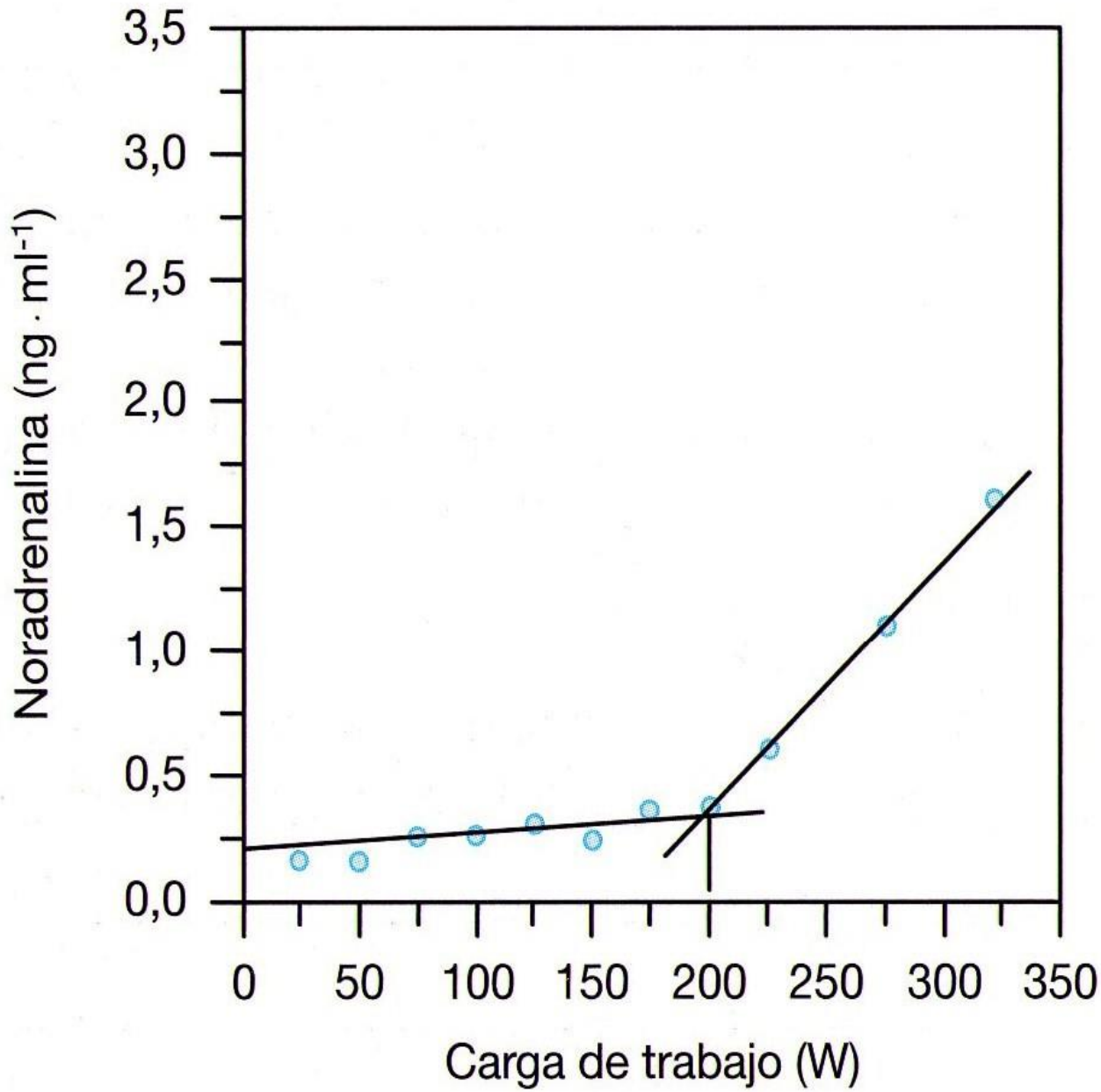
Respuesta del
doble producto
(DP) y de [La⁻]
en sangre
durante un test
de rampa



Relación entre la velocidad de carrera y la frecuencia cardíaca, respecto a nivel de lactato en sangre (Conconi y cols, *J Appl Physiol*, 1982)



Determinación
del punto de
inflexión de la
FC



Determinación
del umbral de
catecolaminas

Tabla 2
Escales de Borg de percepción subjetiva del esfuerzo (RPE)

6	
7	Muy, muy ligero
8	
9	Muy ligero
10	
11	Ligero
12	
13	Algo duro
14	
15	Duro
16	
17	Muy duro
18	
19	Muy, muy duro
20	

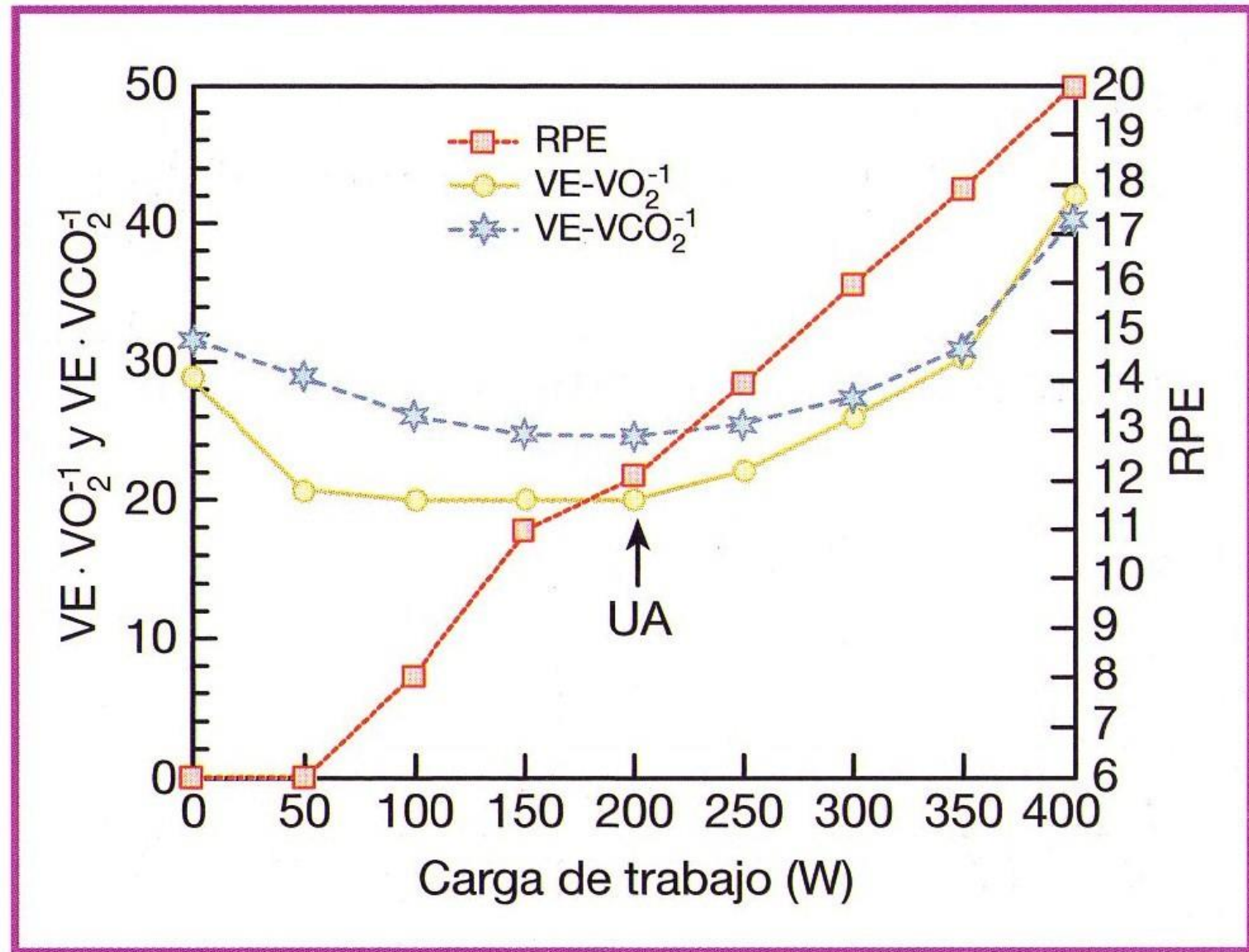


Figura 25.26. Ejemplo de determinación del umbral de RPE (RPE_T) y umbral ventilatorio (VT).

Tabla 3
Valores medios del umbral de percepción subjetiva del esfuerzo (RPE_T) y umbral ventilatorio (VT)

Parámetros	$\dot{V}O_2$ (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	% $\dot{V}O_{2max}$	Frecuencia cardíaca (lpm)	Carga de trabajo (W)
RPE _T	41,2 ± 10,1	63,2 ± 10,2	146 ± 18	206,2 ± 41,7
VT	42,5 ± 12,2	62,1 ± 6,6	143 ± 15	201,8 ± 51,2

Todos los valores se expresan como media ± SD.

Aplicaciones del Umbral Anaeróbico

- 1) Valoración de la capacidad de resistencia
- 2) Evaluación de los efectos del entrenamiento
- 3) Prescripción de intensidad de ejercicio
- 4) Predicción del rendimiento

- Los valores de la transición A-An son más altos en atletas de resistencia comparado con no entrenados
- En entrenados está entre el 80-90%, en sedentarios se sitúa entre el 50-60%.

Aplicaciones del Umbral Anaeróbico

- 1) Valoración de la capacidad de resistencia
- 2) Evaluación de los efectos del entrenamiento
- 3) Prescripción de intensidad de ejercicio
- 4) Predicción del rendimiento

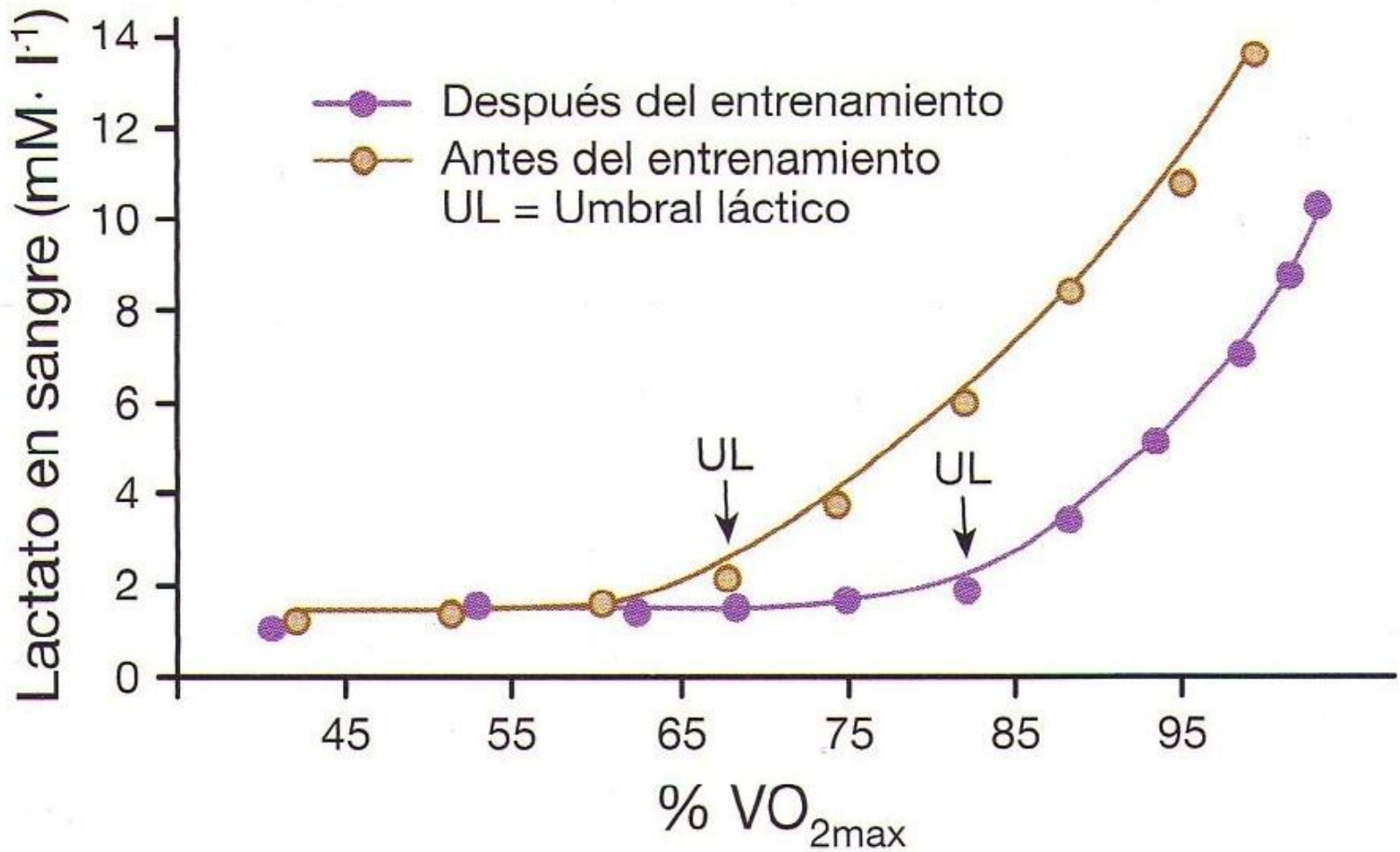
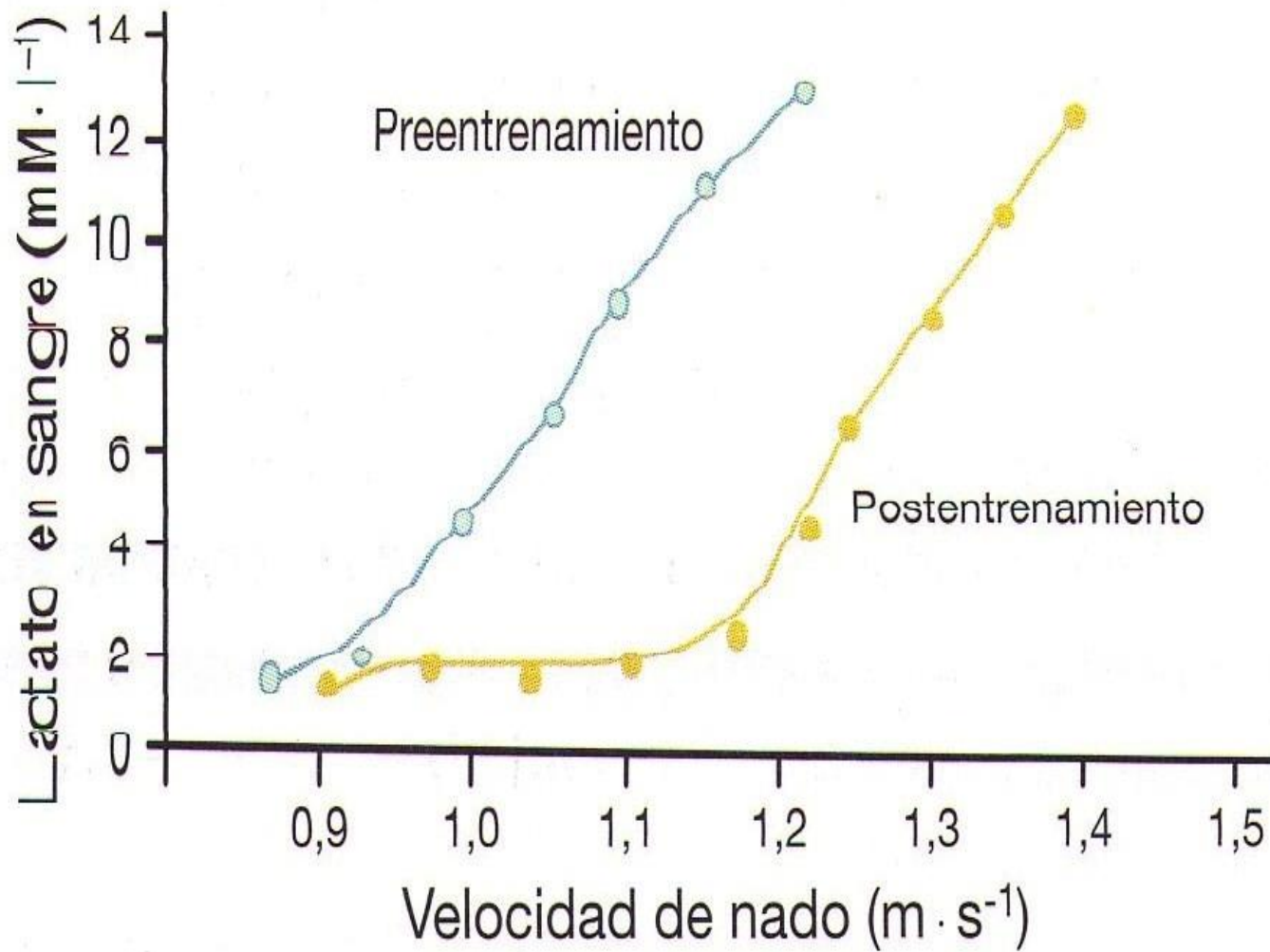


Figura 25.27. Efectos del entrenamiento de resistencias sobre la respuesta del lactato sanguíneo en el ejercicio incremental.



Efecto del entrenamiento sobre la [La] después de 300 metros de natación

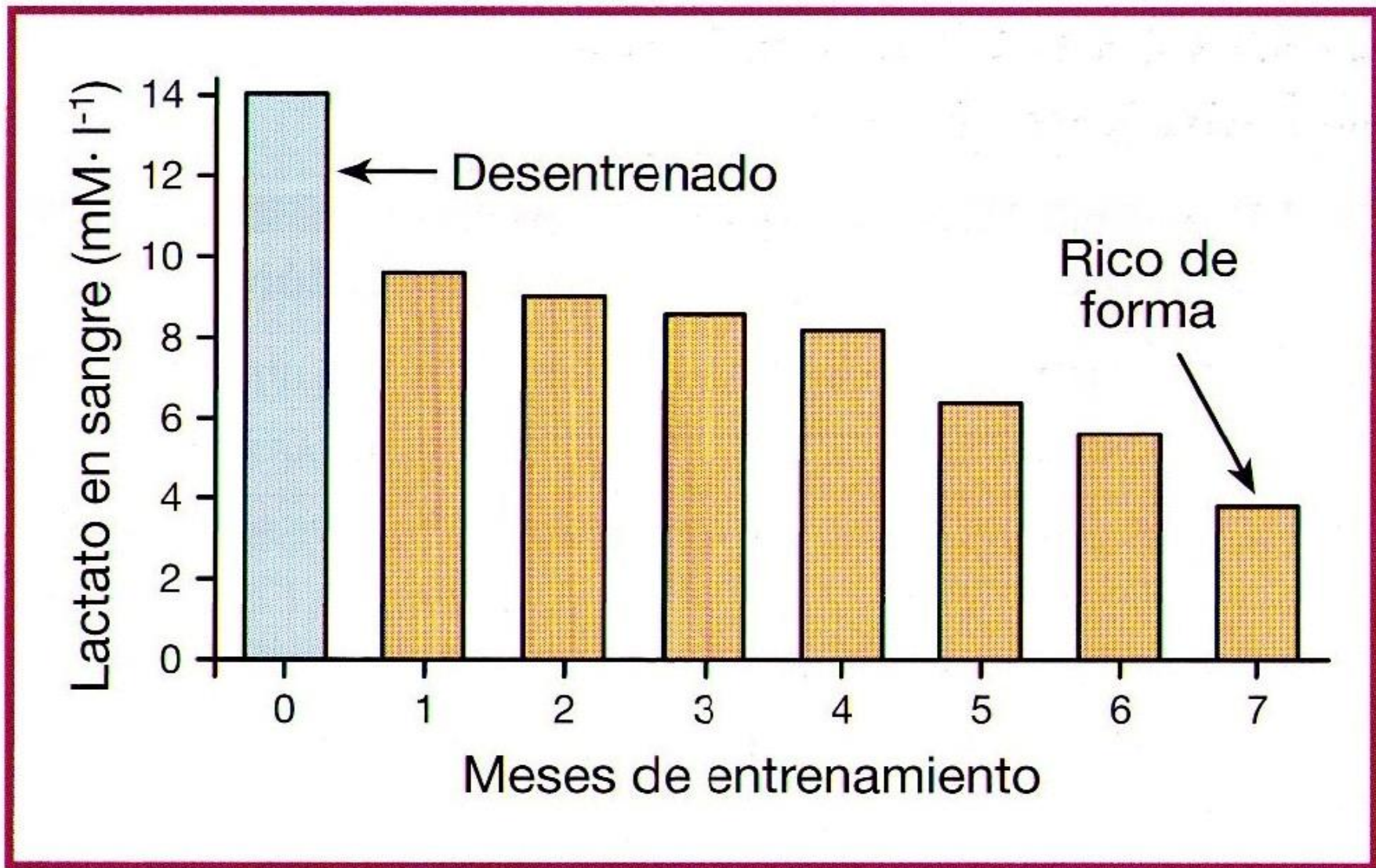


Figura 25.29. Efecto del entrenamiento sobre la concentración de lactato en sangre, corriendo a una velocidad de $16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ durante 1.500 m .

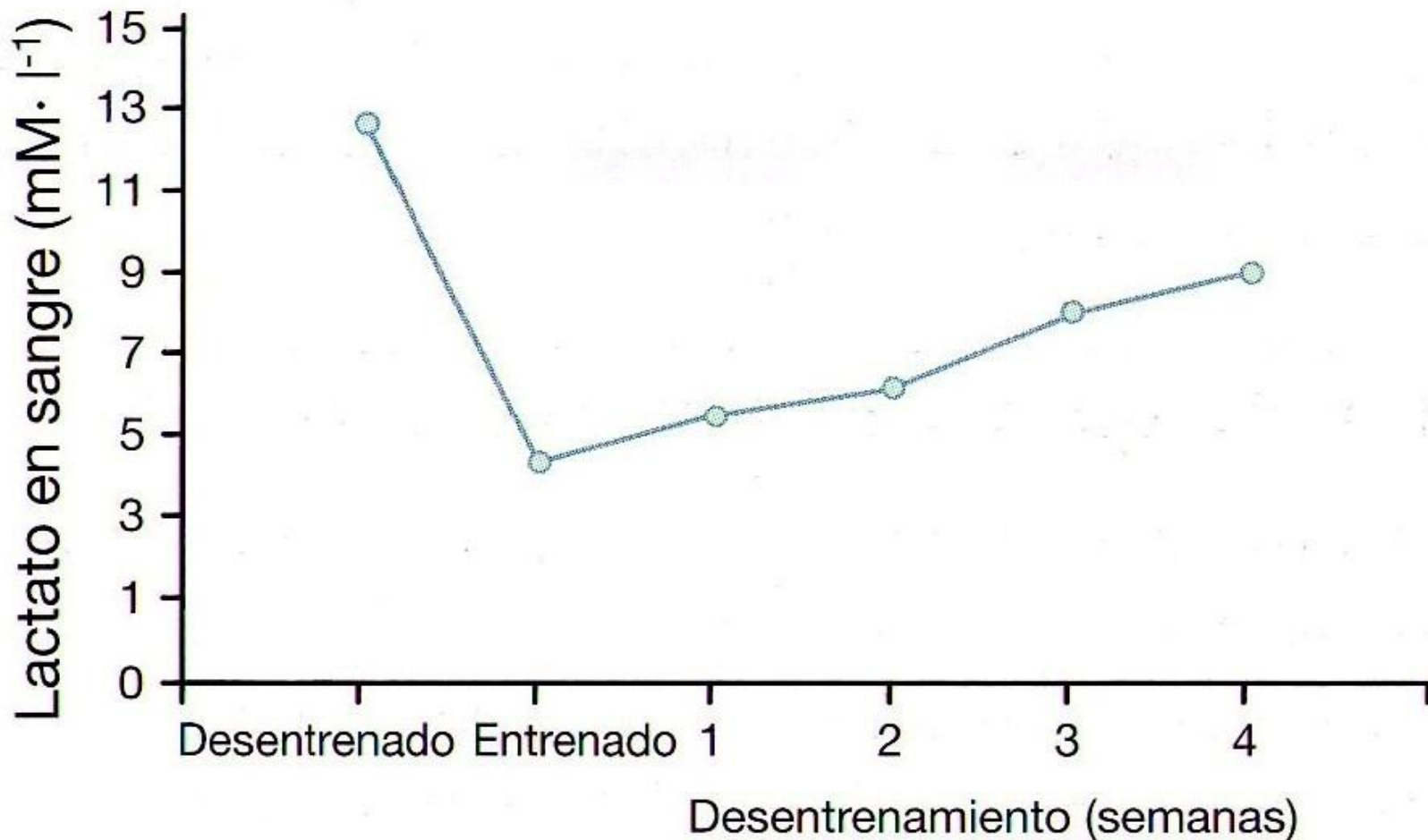


Figura 25.30. Efecto del entrenamiento y del desentrenamiento sobre las concentraciones sanguíneas de lactato en el esfuerzo.

Aplicaciones del Umbral Anaeróbico

- 1) Valoración de la capacidad de resistencia
- 2) Evaluación de los efectos del entrenamiento
- 3) Prescripción de intensidad de ejercicio
- 4) Predicción del rendimiento

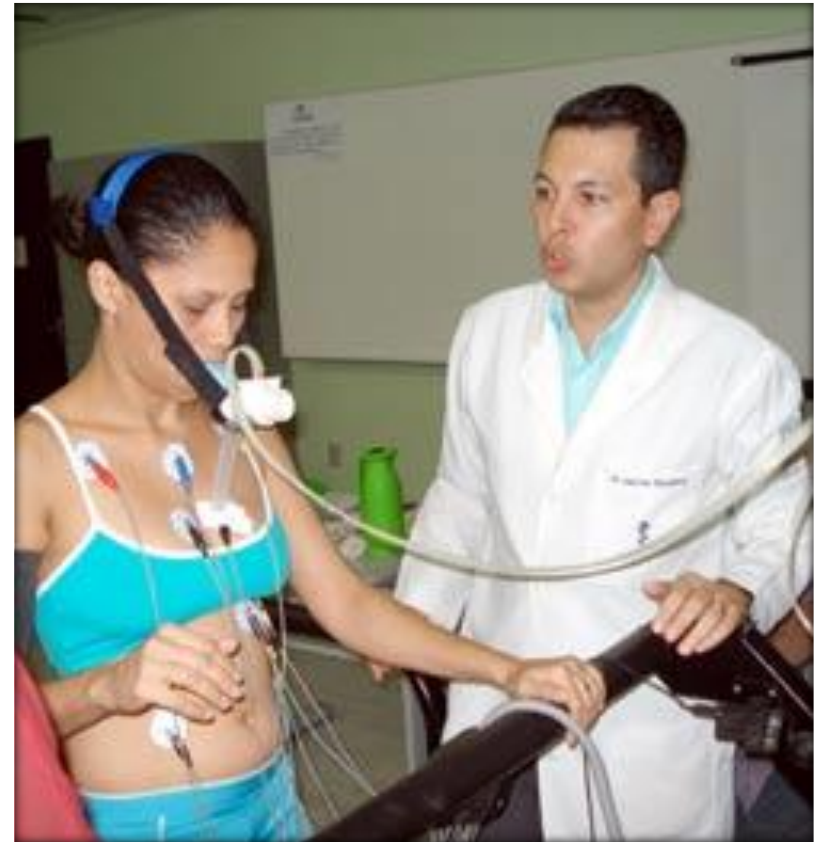
Con relación al máximo estado estable de La^- (MLSS):

- Aeróbico 1: 75-85% (entrenamiento de regeneración)
- Aeróbico 2: 85-95% (entrenamiento continuo extensivo)
- Resistencia 1: 95-100% (continuo intensivo)
- Resistencia 2: 100-110% (interválico extensivo)
- Anaeróbico 1: glucólisis an/interválico intensivo (2-3 min)
- Anaeróbico 2: fosfágenos/sprint de 10"

Aplicaciones del Umbral Anaeróbico

- 1) Valoración de la capacidad de resistencia
- 2) Evaluación de los efectos del entrenamiento
- 3) Prescripción de intensidad de ejercicio
- 4) Predicción del rendimiento

- El UA está relacionado estrechamente con el rendimiento deportivo y es mejor predictor del rendimiento en pruebas de larga distancia que el VO_2 máx.











LOS COLEGIOS DE LA VÍA ARMENIA SE INTEGRAN

TODOS COMPITEN POR LA AMISTAD



Ayer cerca de 300 jóvenes participaron en diferentes disciplinas deportivas en el colegio Anglohispano.

A las instalaciones del colegio Anglohispano entraron niños de todos los colegios de la vía Armenia, el propósito hacer amigos mediante el deporte, competir, recrearse, compartir, vivir una aventura difícil de olvidar; el objetivo se logró al final de la tarde.

“El año pasado decidimos organizar una alianza con los colegios de la vía Armenia, porque pretendimos de que a parte de ser un corredor turístico la gente lo viera como

una oportunidad educativa, de aventura y conocimiento”, comentó Juan Diego Vallejo, rector de la institución.

Abraham Lincoln, Los Sagrados Corazones, el Angloamericano, el Liceo Taller San Miguel y el Anglohispano a parte de realizar actividades recreativas también se han unido para hacer propuestas culturales.

Ayer a las instalaciones deportivas del plantel acudieron 219 chicos visitantes, quienes practicaron ajedrez, tenis de campo, fútbol, baloncesto, voleibol entre otras disciplinas.

Los niños disfrutaron como nunca del deporte, en el colegio había todo tipo de canchas.

¿Qué piensa?

MARÍA CAMILA ARANGO:



Me parece muy bien, porque esto es una forma de integrarse, me he sentido muy bien.

JUAN JOSÉ RAMÍREZ:



Bien, me ha gustado mucho jugar al fútbol. Estoy muy contento con todo.

1. Referencias Bibliográficas Fisiología del Ejercicio López Chicharro 3E Capítulos 4 y 5