

# **RESPUESTAS Y ADAPTACIONES NEUROENDOCRINAS AL EJERCICIO**

---

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

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

**El ejercicio =>**

**Respuestas: agudas y a largo plazo**

**están reguladas por:**

- ✓ **Sistema nervioso (Sistema nervioso simpático)**
  - ✓ **Sistema endocrino (glándulas adrenales)**
  
  - **Activación rápida (componente nervioso rápido)**
  - **Activación diferida (componente del medio interno).**
- => Rtas Rápidas, Rtas Lentas y Rtas Diferidas**

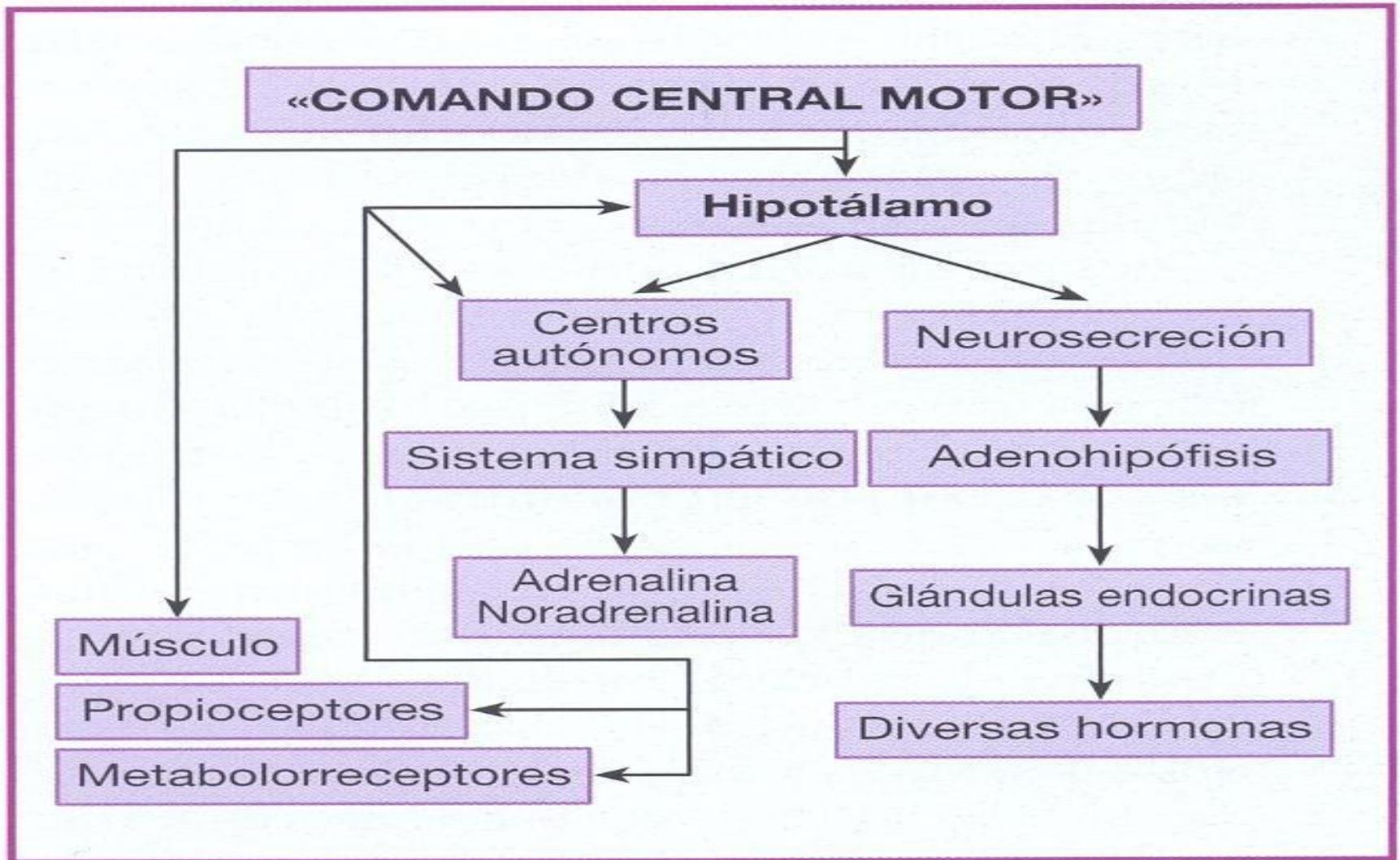
## **Respuestas diferidas**

**Glucagón, Somatotrofina, Insulina, Calcitonina**

**Parte de los cambios hormonales obedecen a la activación de un *Comando Motor central*.**

**La Amplitud de respuesta esta modulada por impulsos de :**

- 1. Propioceptores**
- 2. Metaboloreceptores (músculos activos)**



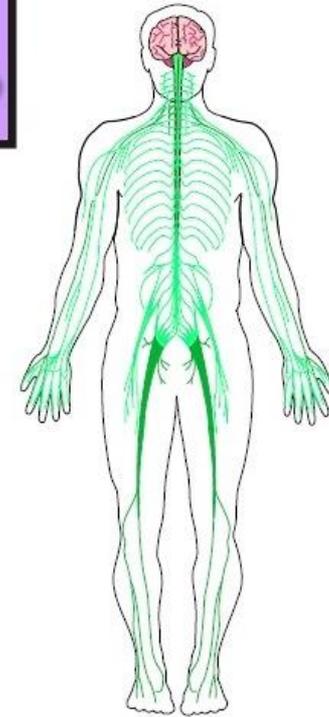
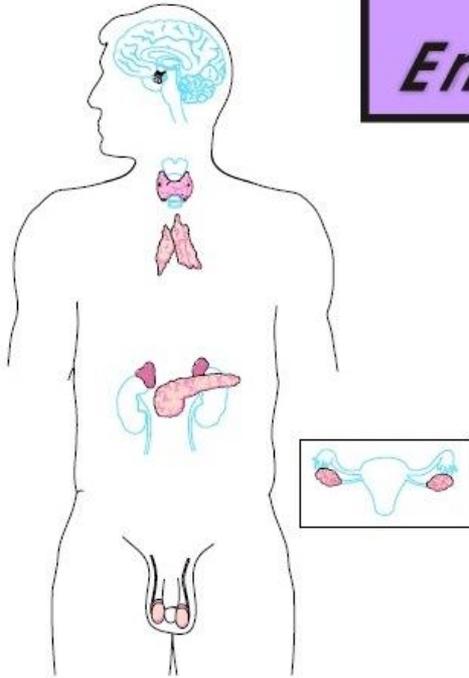
**Figura 31.1.** Mecanismos de estimulación de la función endocrina durante el ejercicio. (Modificada de Viru A, Smirnova T, Karelson K, Snegovskaya V, Viru M. Determinants and modulators of hormonal responses to exercise. *Biol Sport*, 1996; 13:169-187.)

**La valoración de las respuestas del sistema endocrino al ejercicio físico, requiere del conocimiento de algunos Factores fisiológicos y otros:**

- ❖ **Intensidad del ejercicio**
- ❖ **Duración del ejercicio**
- ❖ **Efectos del entrenamiento**
- ❖ **El estrés psicológico**
- ❖ **Presión atmosférica**
- ❖ **Temperatura**
- ❖ **Dieta – hidratos de carbono (Cortisol)**
- ❖ **Otros (ciclo menstrual, ciclo circadiano postura del cuerpo e.t.c**

**SISTEMAS:**

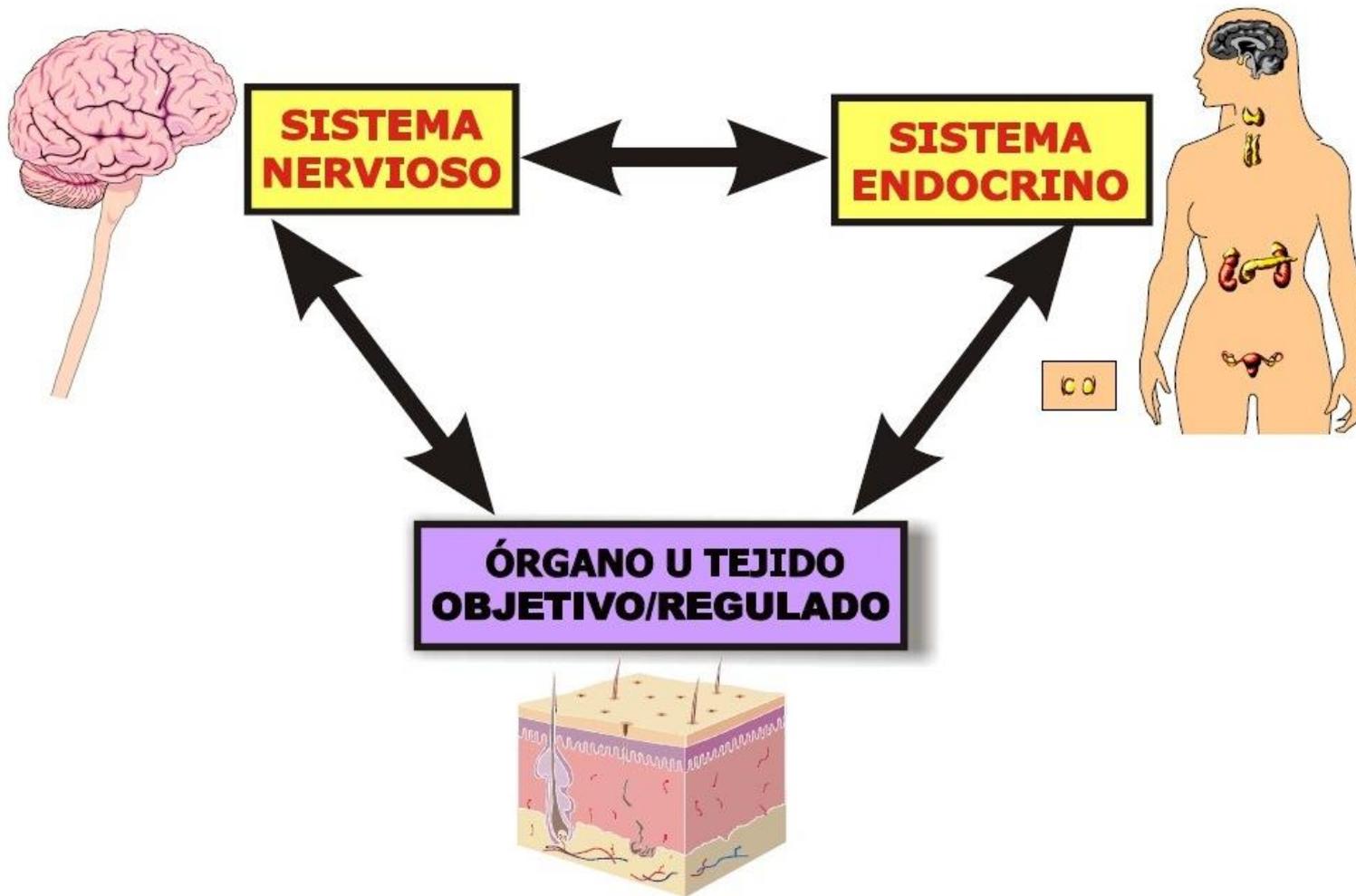
*Endocrino y Nervioso*



**TRABAJAN  
Coordinadamente**  
para:

**Iniciar y Controlar  
el Movimiento  
y todos los  
PROCESOS FISIOLÓGICOS QUE INTERVIENEN**

# SISTEMA DE CONTROL INTEGRADO



# SISTEMA ENDOCRINO

Incluye:

**Tejidos o Glándulas**  
*(Glándulas Endocrinas)*

Segregan:

**HORMONAS**  
*(Mensajeros Químicos)*

Directamente a la:

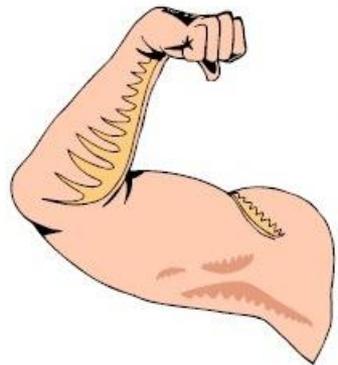
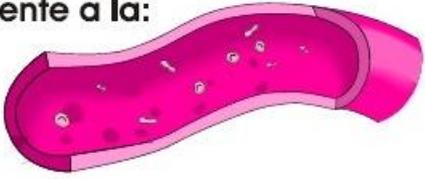
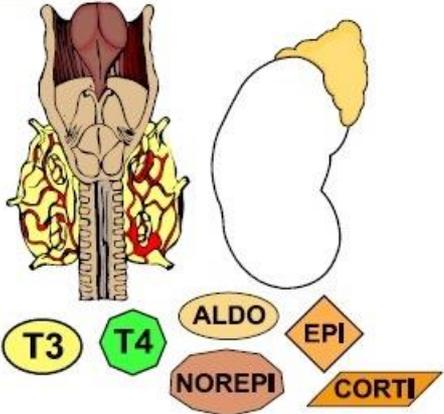
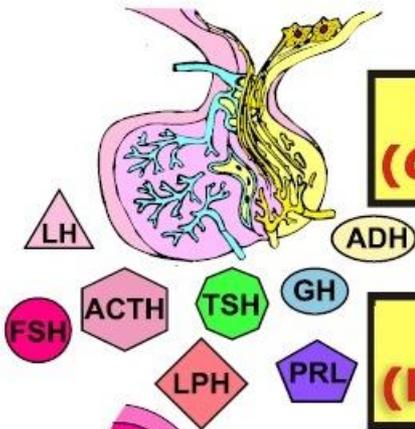
**SANGRE**

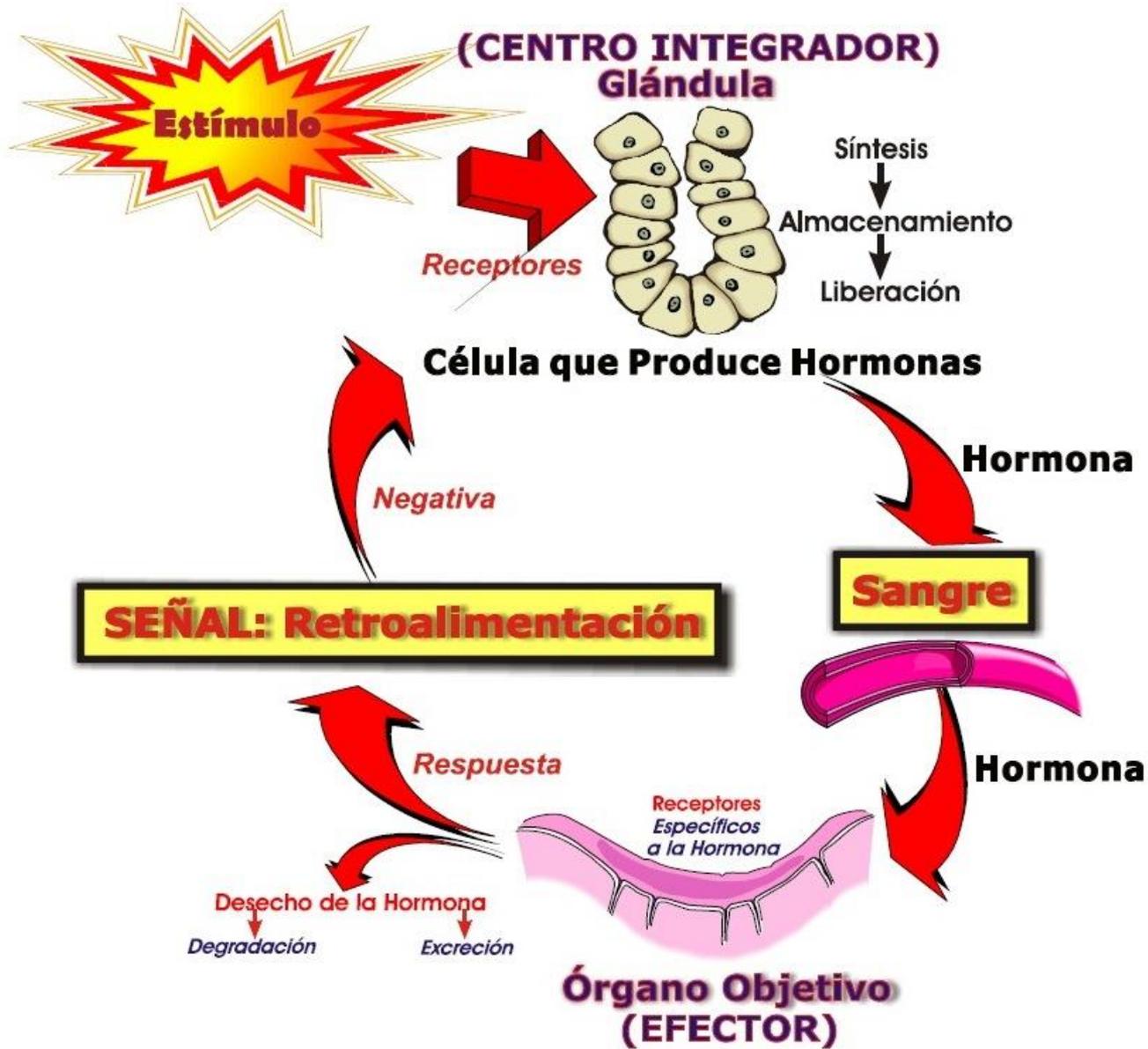
Hacia:

**CÉLULAS OBJETIVO**  
Específicas

Regulación:

**Controlan la**  
**Actividad del**  
**TEJIDO OBJETIVO**





# HORMONAS

Tipos:

## CLASIFICACIÓN QUÍMICA

### Esteroides

Ej: *Cortisol*:

#### Glucocorticoides



*Corteza Adrenal*

Ej: *Aldosterona*:

#### Mineracorticoides



*Corteza Adrenal*

#### Gonacorticoides

#### Andrógenos

Ejemplo:

#### Testosterona



*Testículos*

#### Estrógeno



*Placenta*

#### Progesterona



*Ovarios*

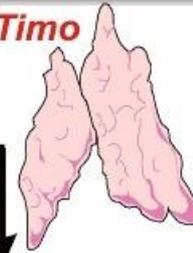
### No Esteroides

(Subclasificación)

Ej: *Timosina*:

#### Proteínas/Hormonas Pépticas

*Timo*



*Epinefrina*

*Norepinefrina*

Ej: *Tiroides*:

*Tiroxina*:

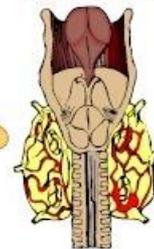
*Triyodotironina*:

#### Derivados de Aminoácidos

*Médula Adrenal*

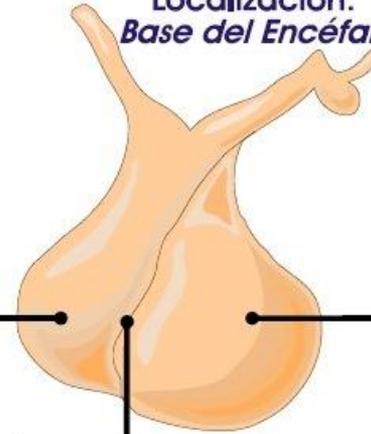


*Tiroides*



# HIPÓFISIS (PITUITARIA)

Localización:  
*Base del Encéfalo*



**Lóbulo Anterior  
(Adenohipófisis)**

**Lóbulo Posterior  
(Neurohipófisis)**

**Secretan Hormonas**

**Secretan Hormonas**

**Creclimiento  
(GH)**

**Adrenocorticotrofina  
(ACTH)**

**Tiroestimulante  
(TSH)**

**Luteinizante/Estimulante de Células Intersticiales  
(LH, ICSH)**

**Folicoestimulante  
(FSH)**

**Melanoestimulante  
(MSH)**

**Prolactina  
(PRL)**

**Antidiurética  
(ADH)  
o  
Vasopresina**

**Oxitocina  
(ADH)**

# PITUITARIA (HIPÓFISIS)

## Lóbulo Anterior (Adenohipófisis)

Tipos:

Dos (2) Hormonas (GH, PRL)

Tipos:

Cuatro (4) Hormonas (ACTH, TSH, FSH, LH)

No: Trópicas:

Trópicas:

### Hormona del Crecimiento (GH)

Afectan el Funcionamiento de otras Glándulas Endocrinas

↑ Aminoácidos a las Células

↑ Glucogenólisis Hepática

↑ Enzimas Especializadas (↑ Lipasa)

↑ Crecimiento → Hipertrofia  
*Síntesis*

↑ Catabolismo Glucógeno

Mobilización Grasas:

↑ Velocidad de Síntesis de Proteínas

↑ Glucemia (↑ Glucosa Sanguínea)

↑ Catabolismo Lípidos (↑ Lipólisis)

↑ **ACTIVIDAD ANABÓLICA**

Poca Utilización/Consumo de Glucosa por Células

↑ Utilización/Consumo de Grasas por Células

↑↑ Glucemia (↑↑ Glucosa Sanguínea)

↑ Metabolismo de las Grasas

Hiperglucemia (Efecto Diabetogénico)



**EJERCICIO  
AGUDO**



**Retraso en la Elevación  
de los Niveles de la  
Hormona Tiroestimulante (TSH)**

Eventualmente:



**↑ Tiroxina (T4)  
en la Sangre**

**EJERCICIO  
Submáximo Prolongado**



**Fase Inicial**



**Aumento Brusco  
de la  
Tiroxina**



**Fase Posterior**



**Niveles Relativamente Constantes  
de la  
Tiroxina (T4)**



**↓ Triyodotironina (T3)**

**EJERCICIO Crónico (A Largo Plazo)**  
**(Que Soporte la Masa Corporal)**  
**De Cadena Cinética Cerrada**

**PARATIROIDES**

**↑ PTH**



**HUESOS**

**Células Óseas**

**Osteoclastos**

**↑ Actividad Osteoclastos**



**INTESTINOS**

**Mucosa Intestinal**

**↑ Enzima Específica**

**↑ Resorción de Ca<sup>++</sup> Intestinal Alimentos**



**RIÑONES**

**RIÑONES**

**↑ Reabsorción de Ca<sup>++</sup>**

**↓ Excreción Urinaria de Ca<sup>++</sup>**

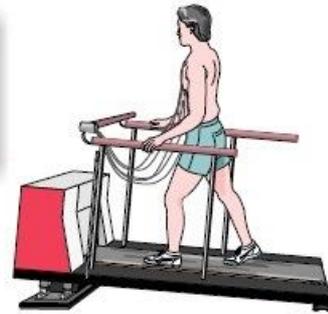
**↑ Ca<sup>++</sup> Sérico**

**↑ Resorción de Ca<sup>++</sup> en el Hueso**

**↑ FORMACIÓN DE HUESO**  
**(↑ Síntesis Ósea)**



**EJERCICIO PROGRESIVO  
(Correr en Banda Sinfín)**



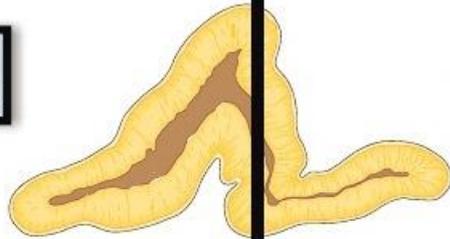
**↑ Intensidad**

**> 50%  $\dot{V}O_2$ máx**

**50-70%  $\dot{V}O_2$ máx**

**↑ Notable Norepinefrina**

**↑ Significativo Norepinefrina**



**> 75%  $\dot{V}O_2$ máx**

**↑ Significativo Epinefrina**

**EJERCICIO CONSTANTE**

**Duración/Intensidad**

**> 3 horas, 60%  $\dot{V}O_2$ máx**

**↑ Epinefrina**

**↑ Norepinefrina**

**(Aumento Lineal, Directamente Proporcional a la Duración del Ejercicio)**

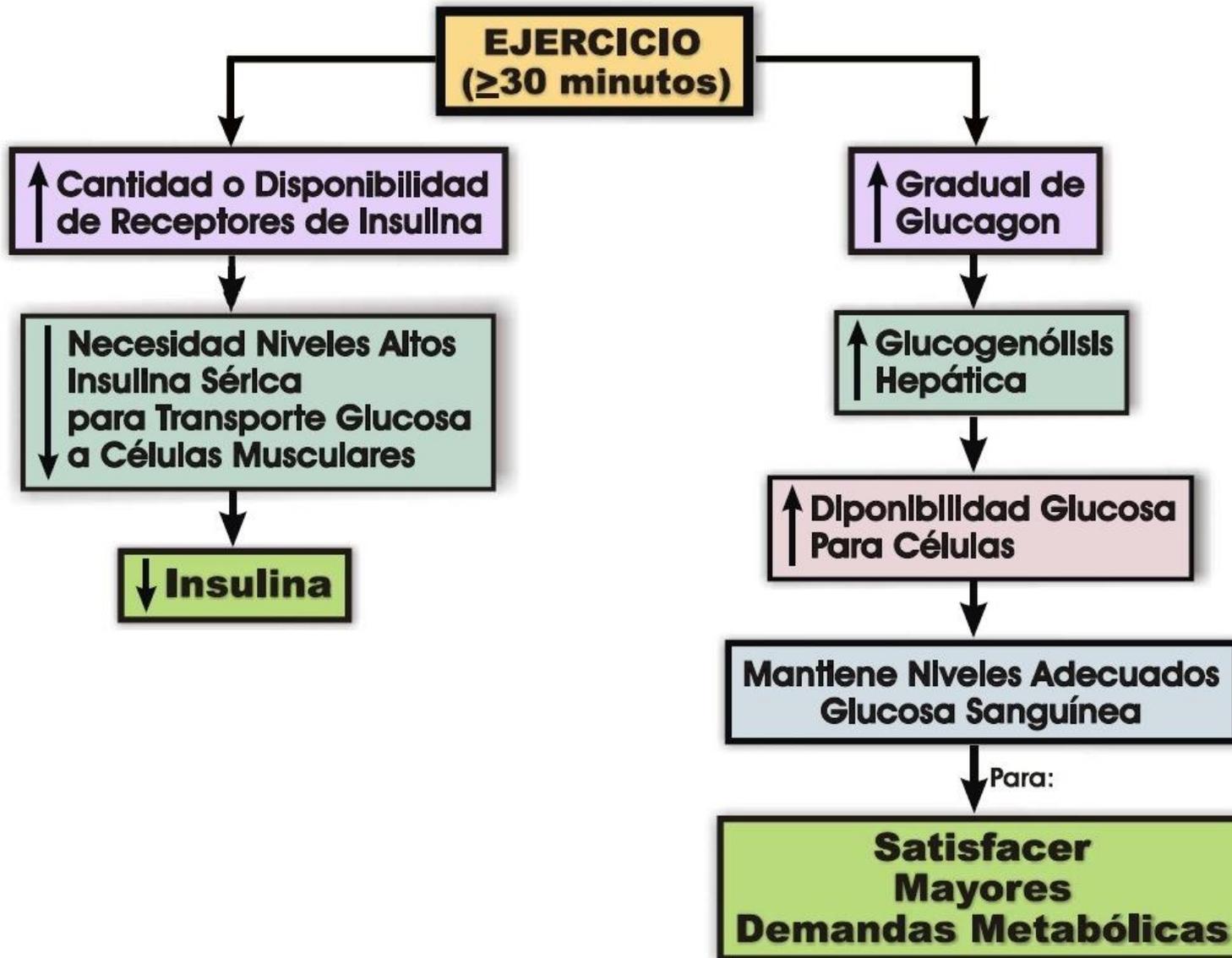
**Finalizado el Ejercicio  
(Recuperación)**

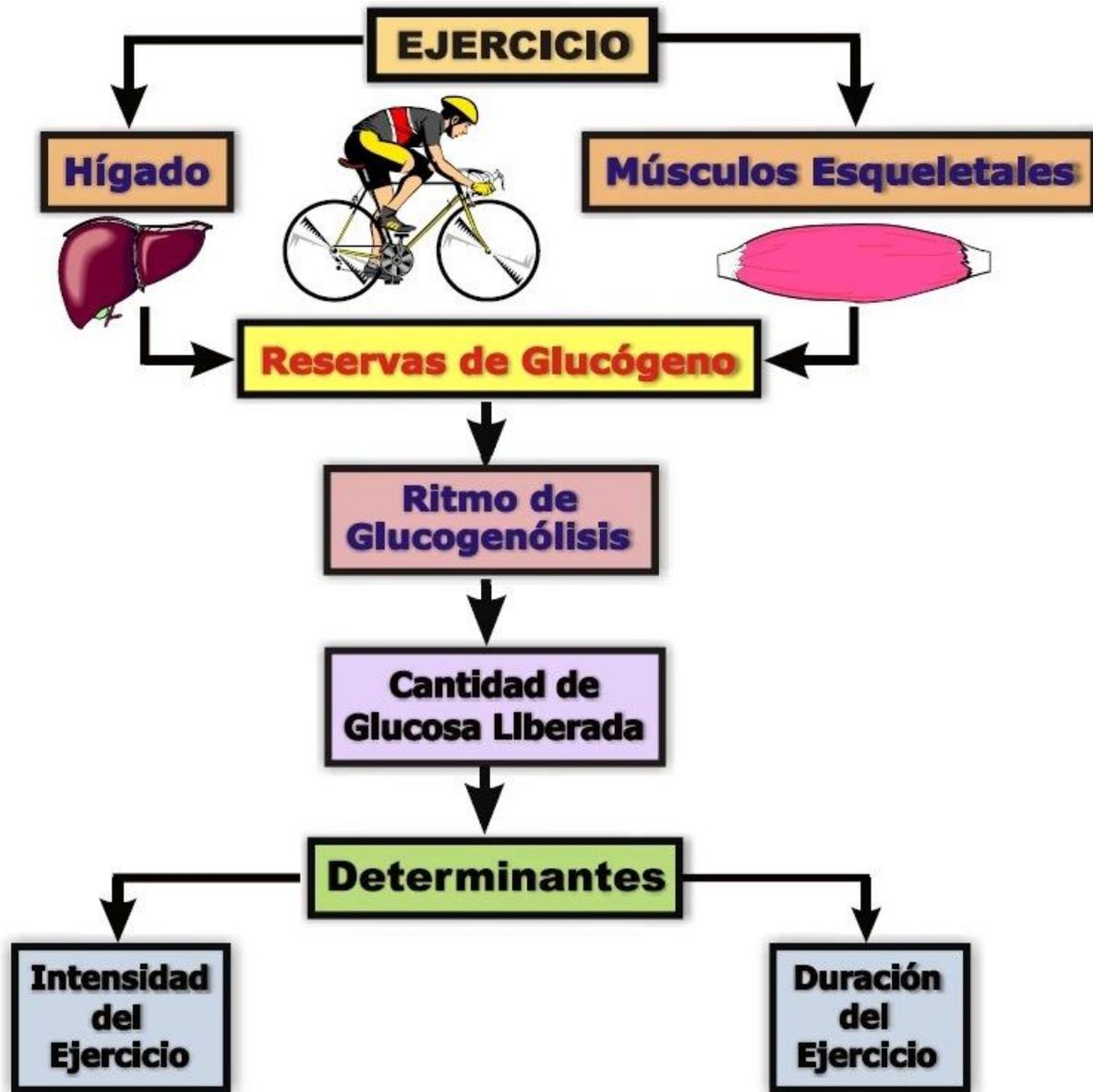
Luego de Pocos Minutos  
Post-Ejercicio:

**Niveles de Epinefrina  
Regresan Estado Reposo**

Por Varias Horas  
Post-Ejercicio:

**Niveles de Norepinefrina  
Se Mantienen Elevados**





# MECANISMO DE RENINA-ANGIOTENSINA

2. La sudoración reduce el volumen del plasma y el flujo sanguíneo hacia los riñones

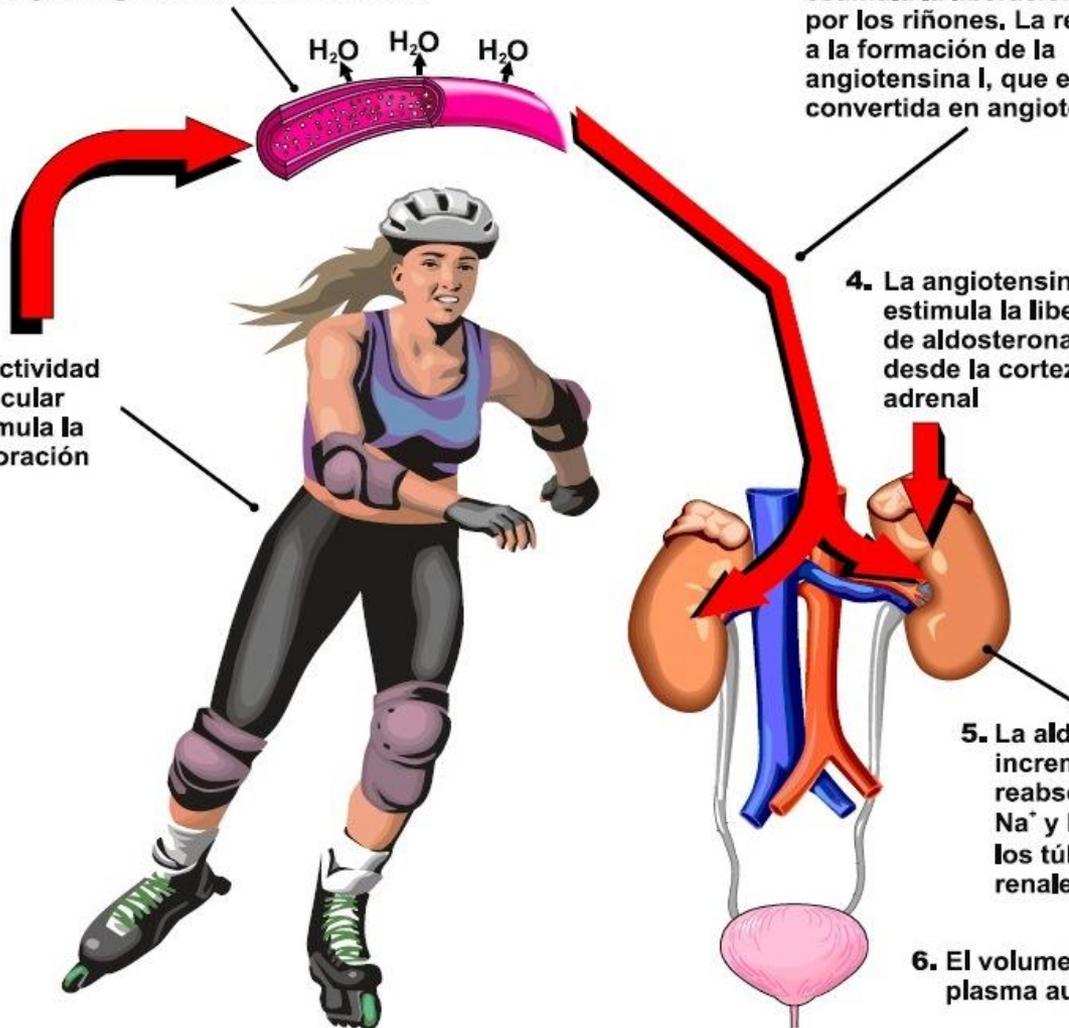
3. El menor flujo sanguíneo renal estimula la liberación de renina por los riñones. La renina lleva a la formación de la angiotensina I, que es convertida en angiotensina II

1. La actividad muscular estimula la sudoración

4. La angiotensina II estimula la liberación de aldosterona desde la corteza adrenal

5. La aldosterona incrementa la reabsorción de  $\text{Na}^+$  y  $\text{H}_2\text{O}$  desde los túbulos renales

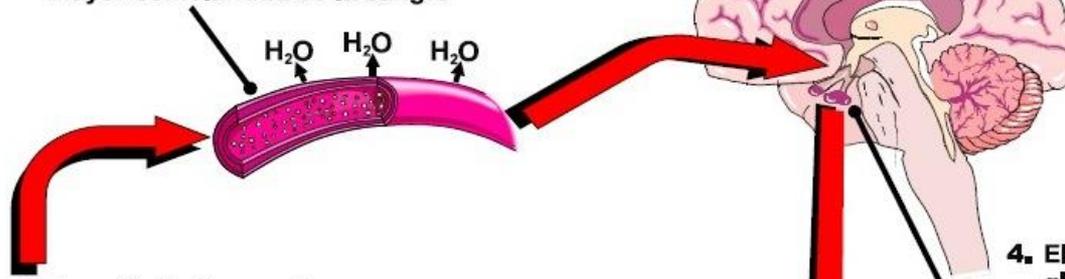
6. El volumen del plasma aumenta



# CÓMO EL ADH CONSERVA EL AGUA CORPORAL

2. La sudoración produce pérdida de plasma de la sangre, que ocasiona hemoconcentración y una mayor osmolaridad de la sangre

3. La mayor osmolaridad de la sangre estimula el hipotálamo

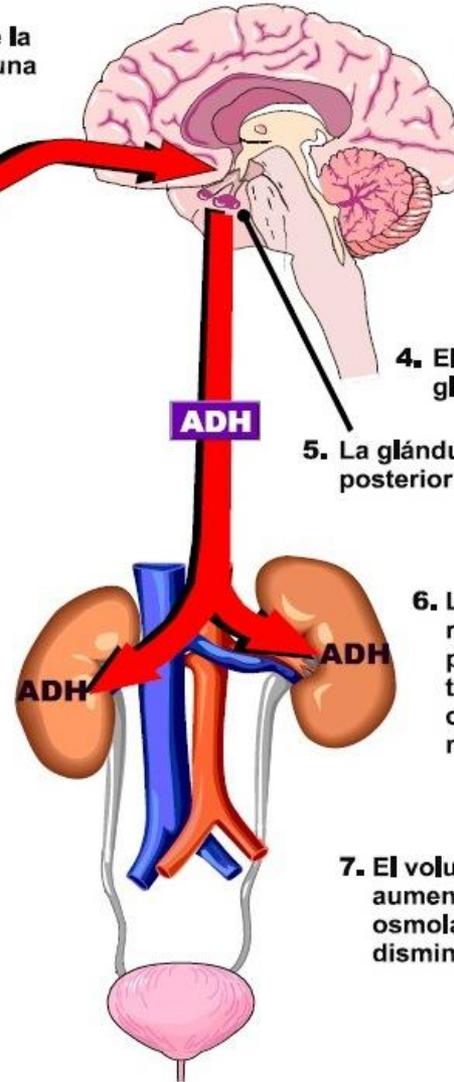


1. La actividad muscular estimula la sudoración



4. El hipotálamo estimula la glándula pituitaria posterior

5. La glándula pituitaria posterior segrega ADH



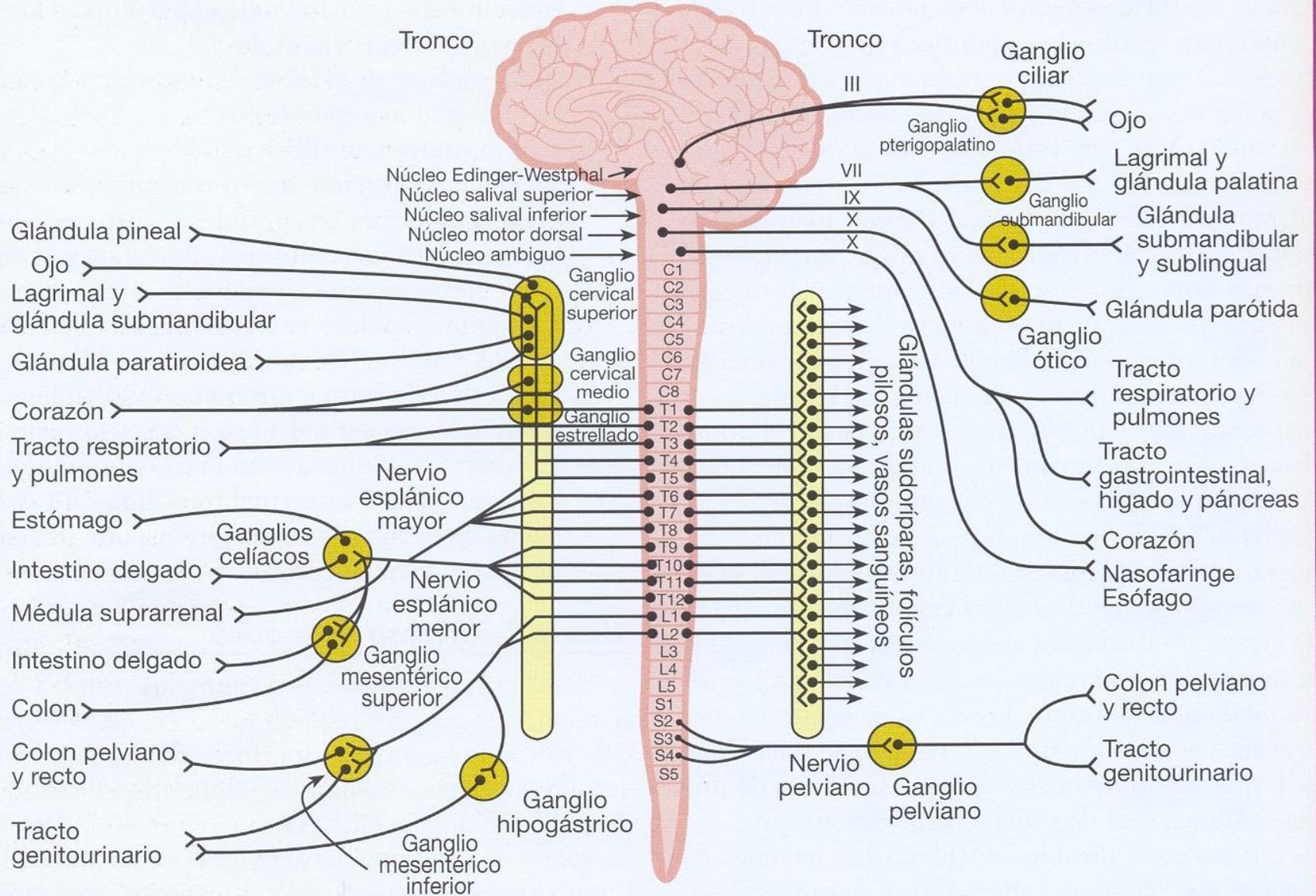
6. La ADH actúa sobre los riñones, incrementando la permeabilidad al agua de los túbulos renales y recogiendo conductos, llevando a una mayor reabsorción de agua

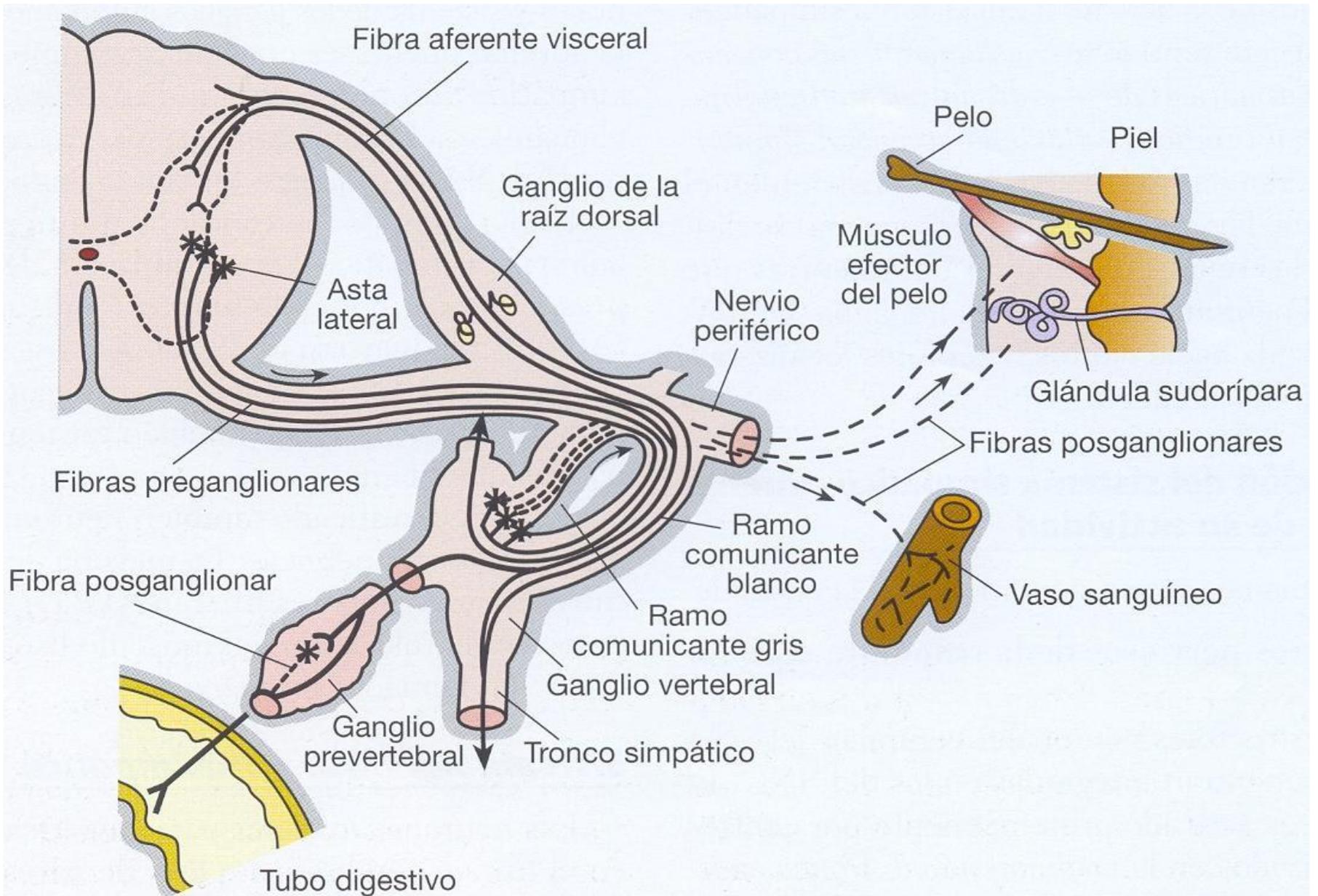
7. El volumen del plasma aumenta, por lo que la osmolaridad de la sangre disminuye

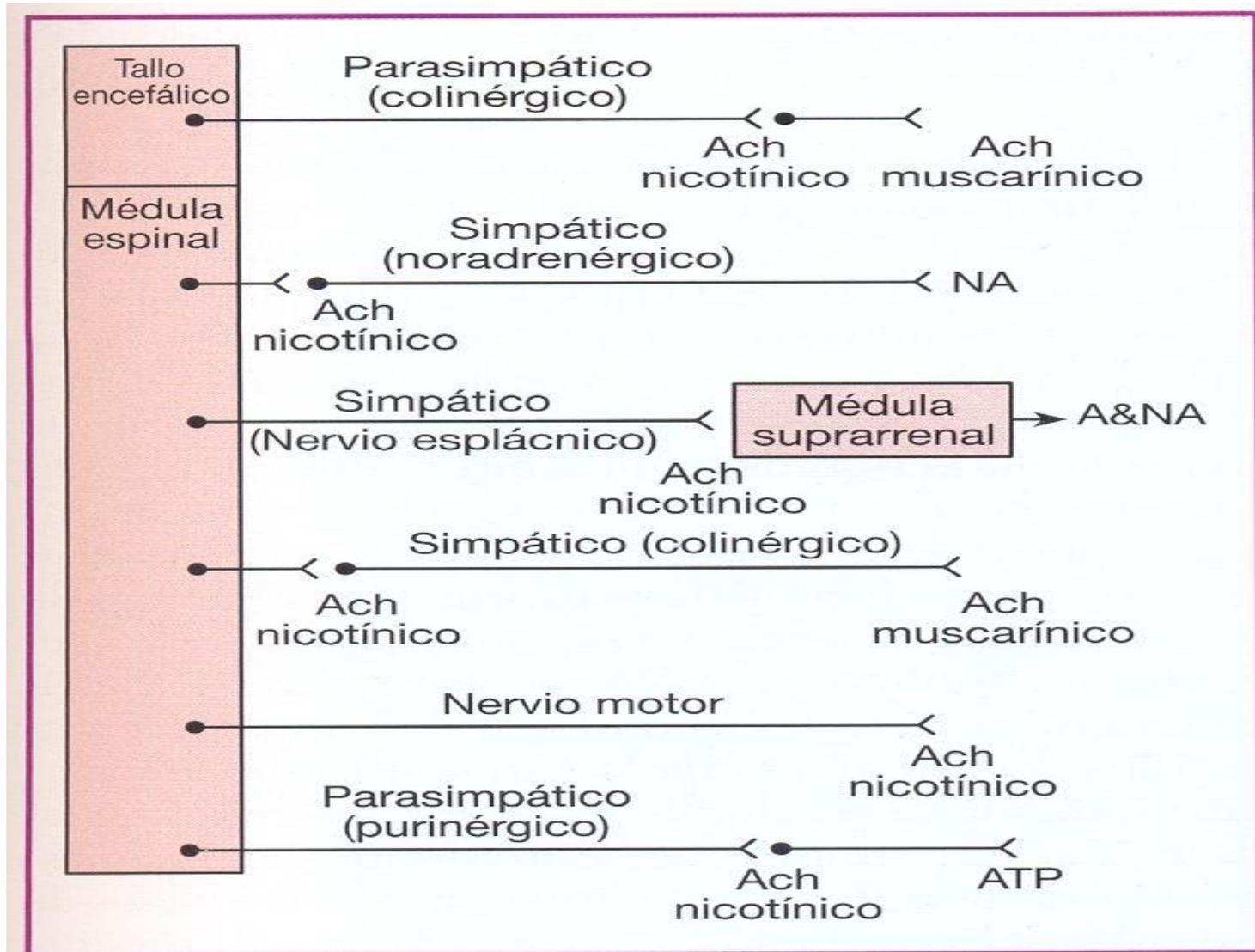
# Simpático

# Médula y raíces espinales

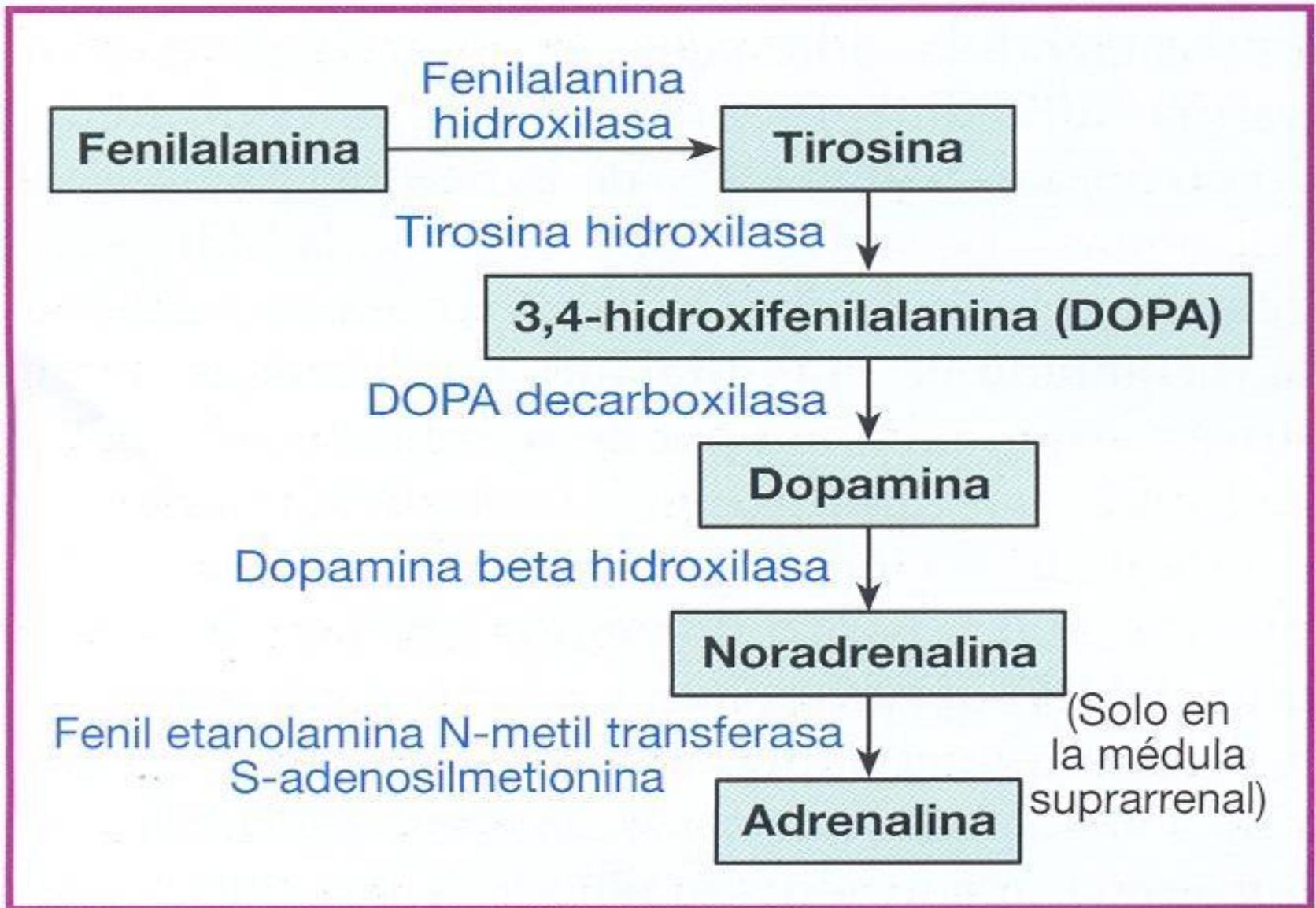
# Parasimpático







**Figura 31.3.** Neurotransmisores en los nervios periféricos.



**Figura 31.4.** Síntesis de catecolaminas.

## **Capacidad del organismo a:**

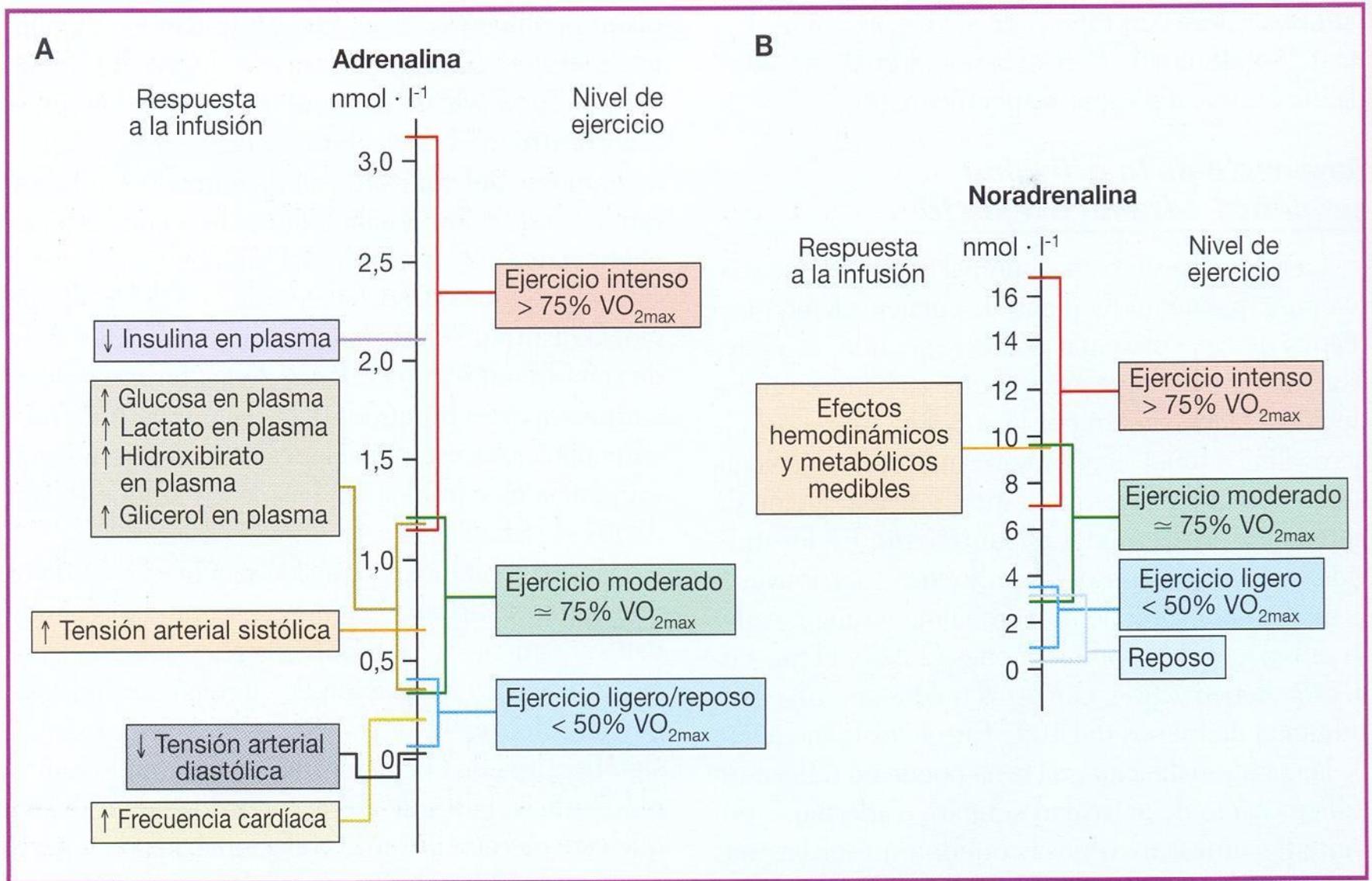
**Adaptarse a diferentes situaciones estresantes**

**Control del sistema simpático adrenal y control de su actividad:**

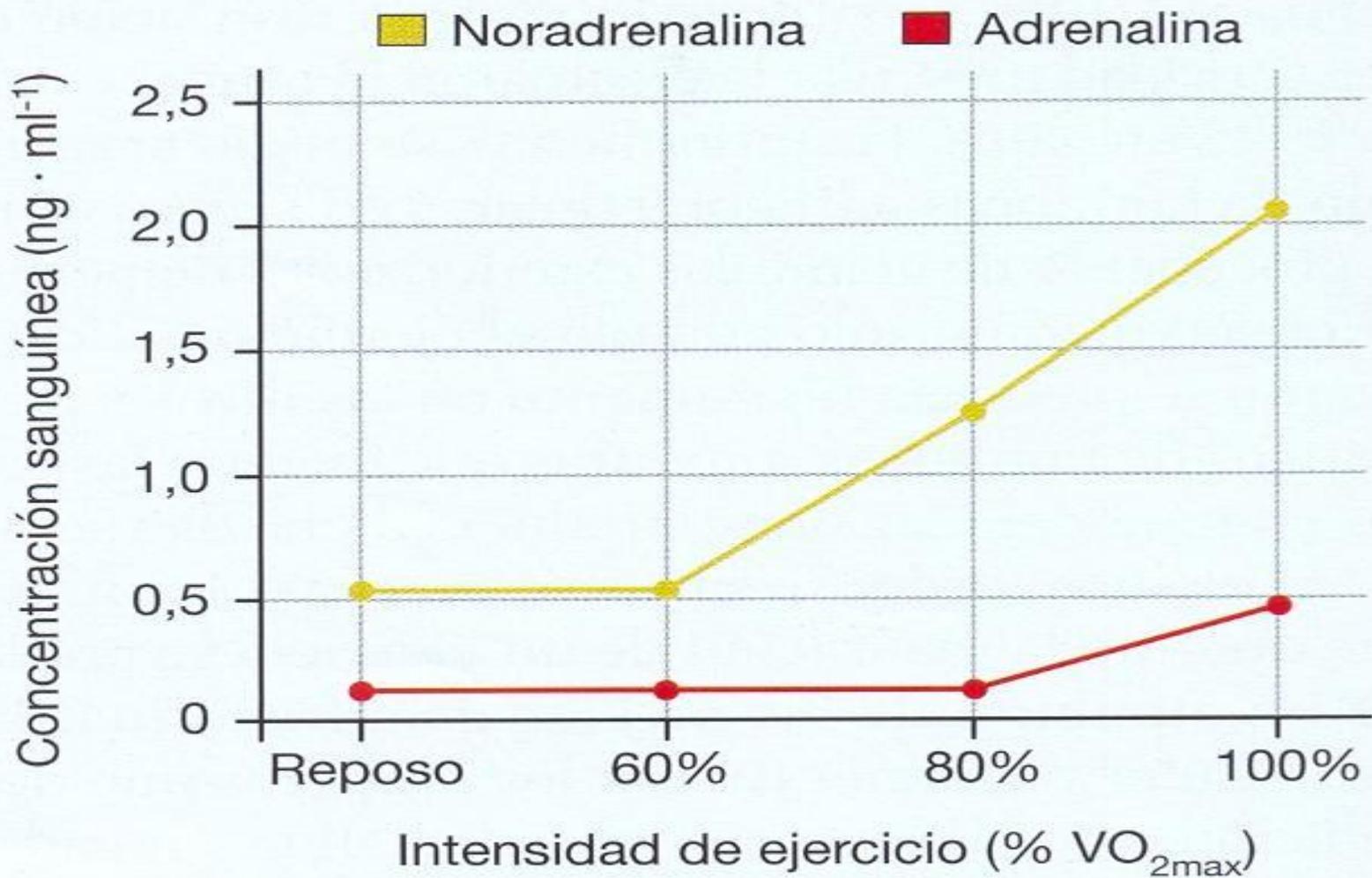
**Centros nerviosos de la respuesta autónoma**

**ME, Tronco encefálico, hipotálamo y corteza cerebral**

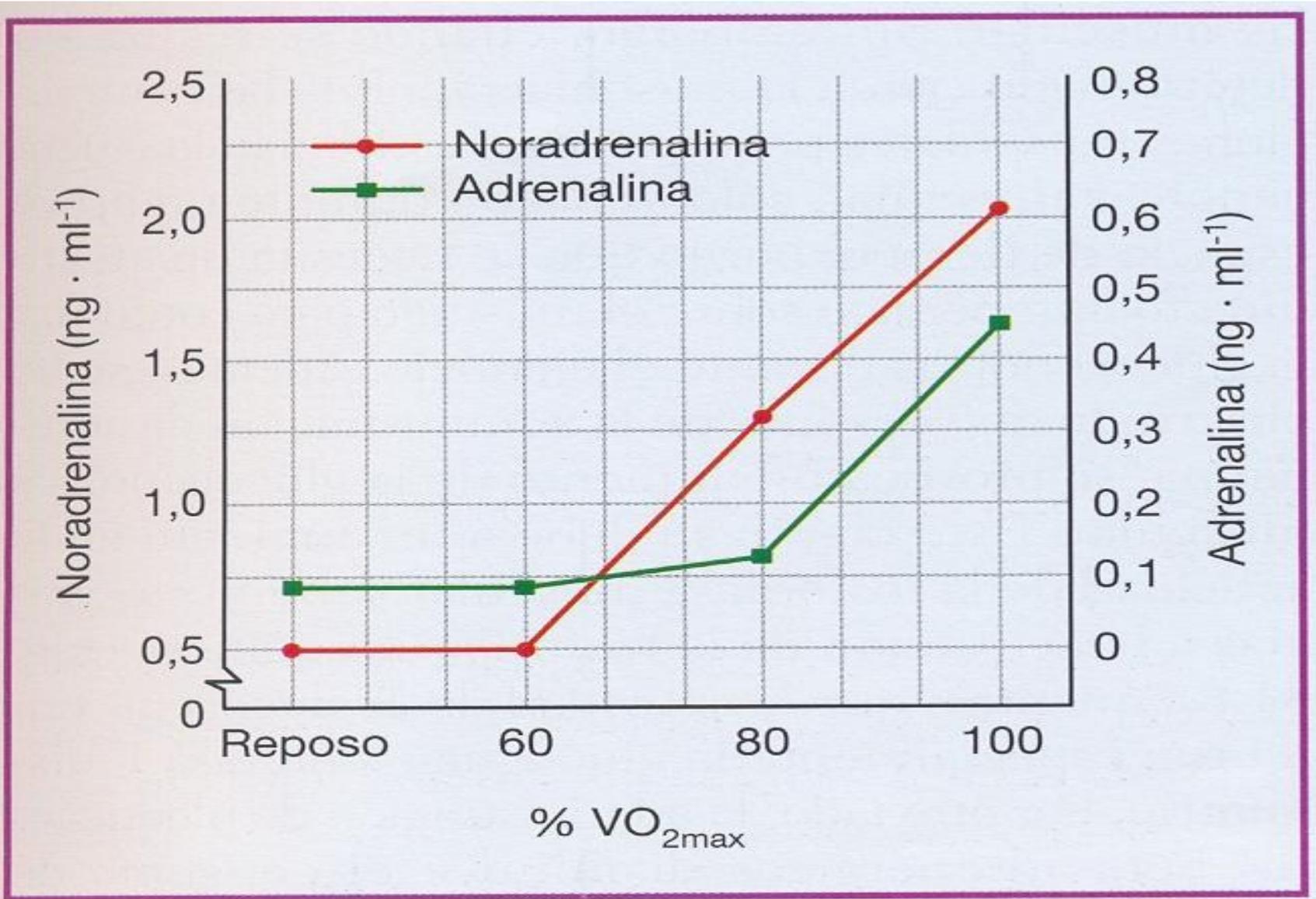
**Componentes periféricos Sistema nervioso autónomo = SNS SNP**



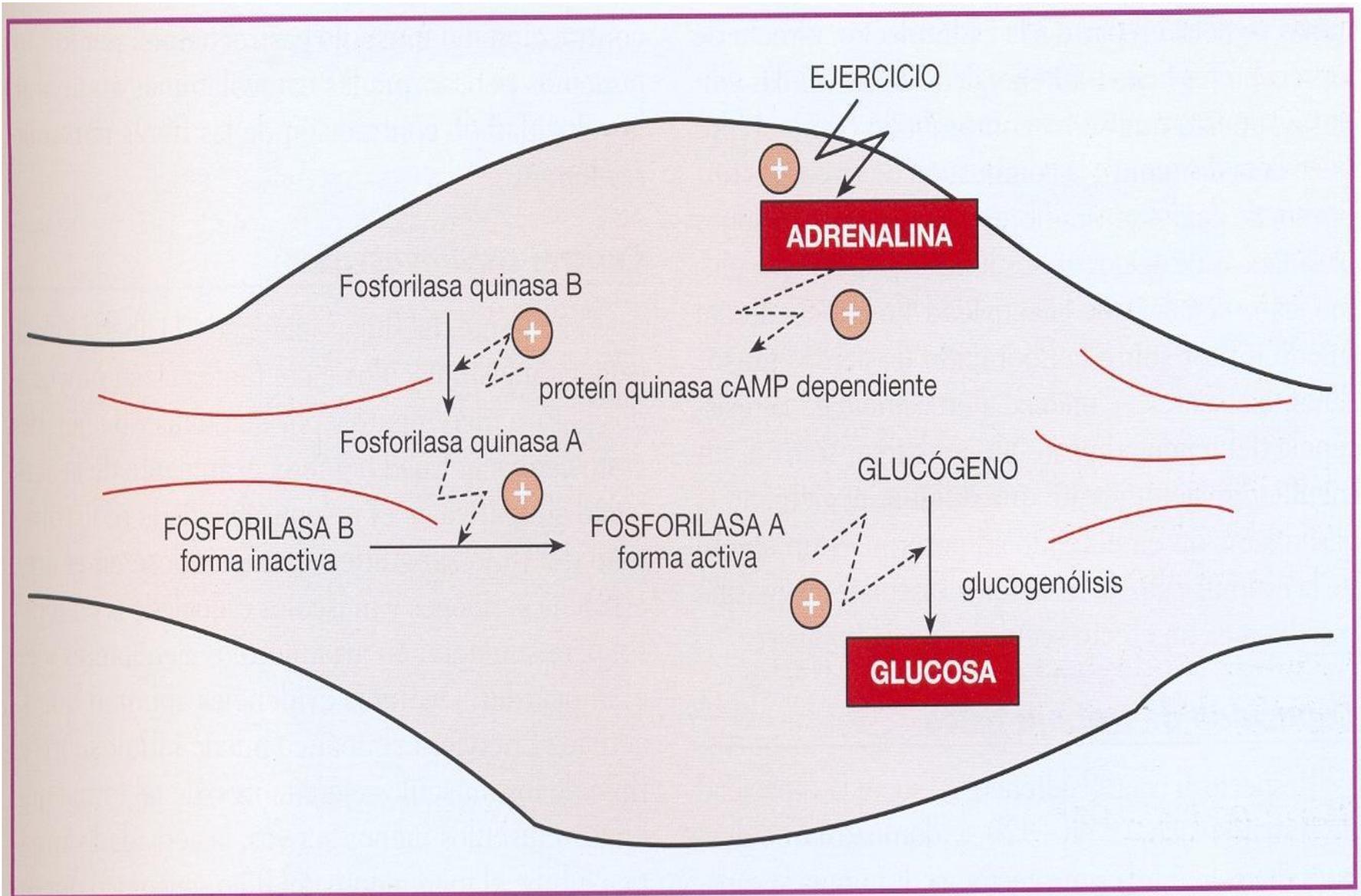
**Figura 31.5. A.** Niveles circulantes de adrenalina plasmática durante el ejercicio y umbrales de estimulación. **B.** Niveles circulantes de noradrenalina plasmática durante el ejercicio y umbrales de estimulación.



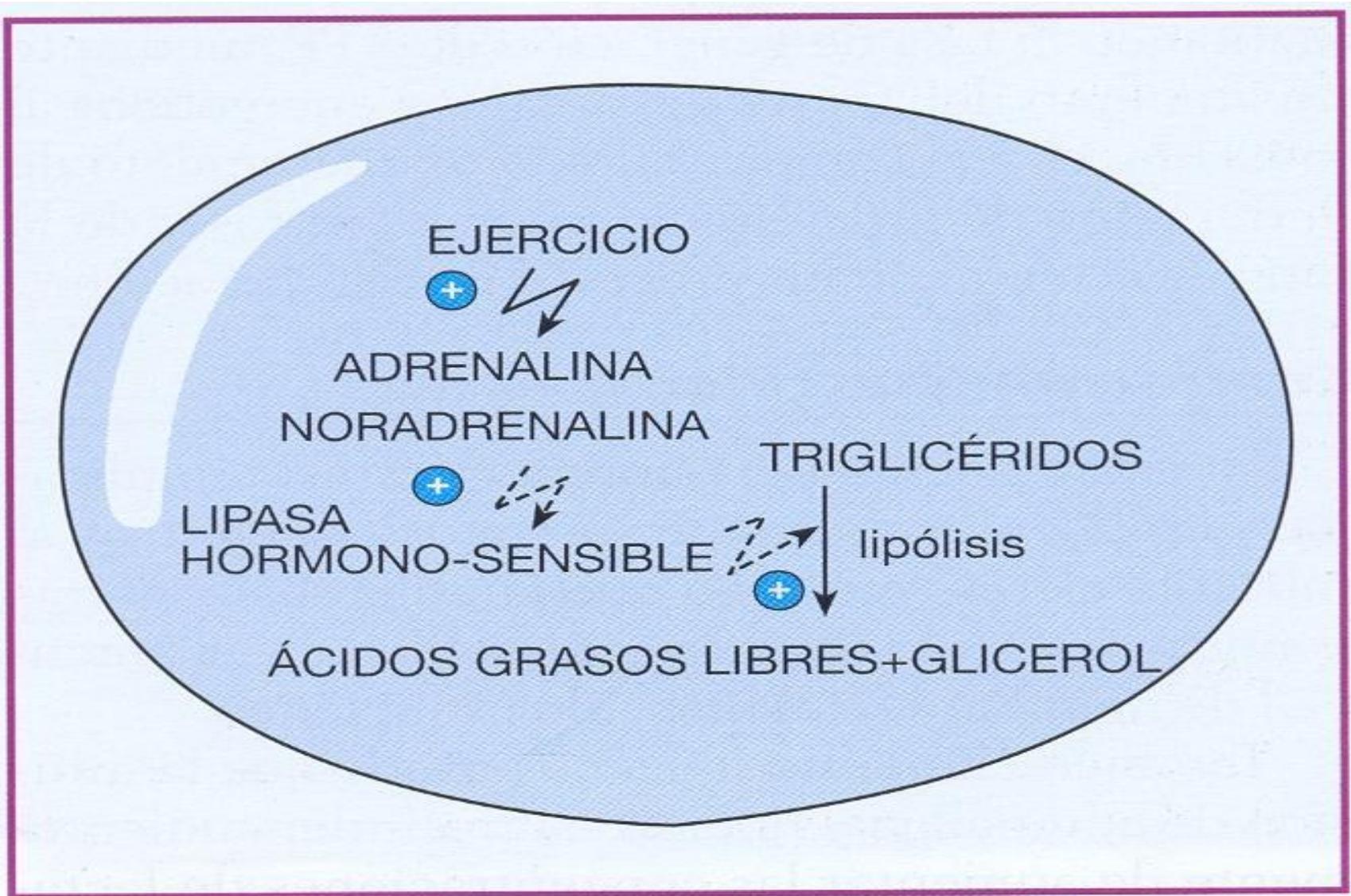
**Figura 31.6.** Respuesta de las catecolaminas al ejercicio incremental.



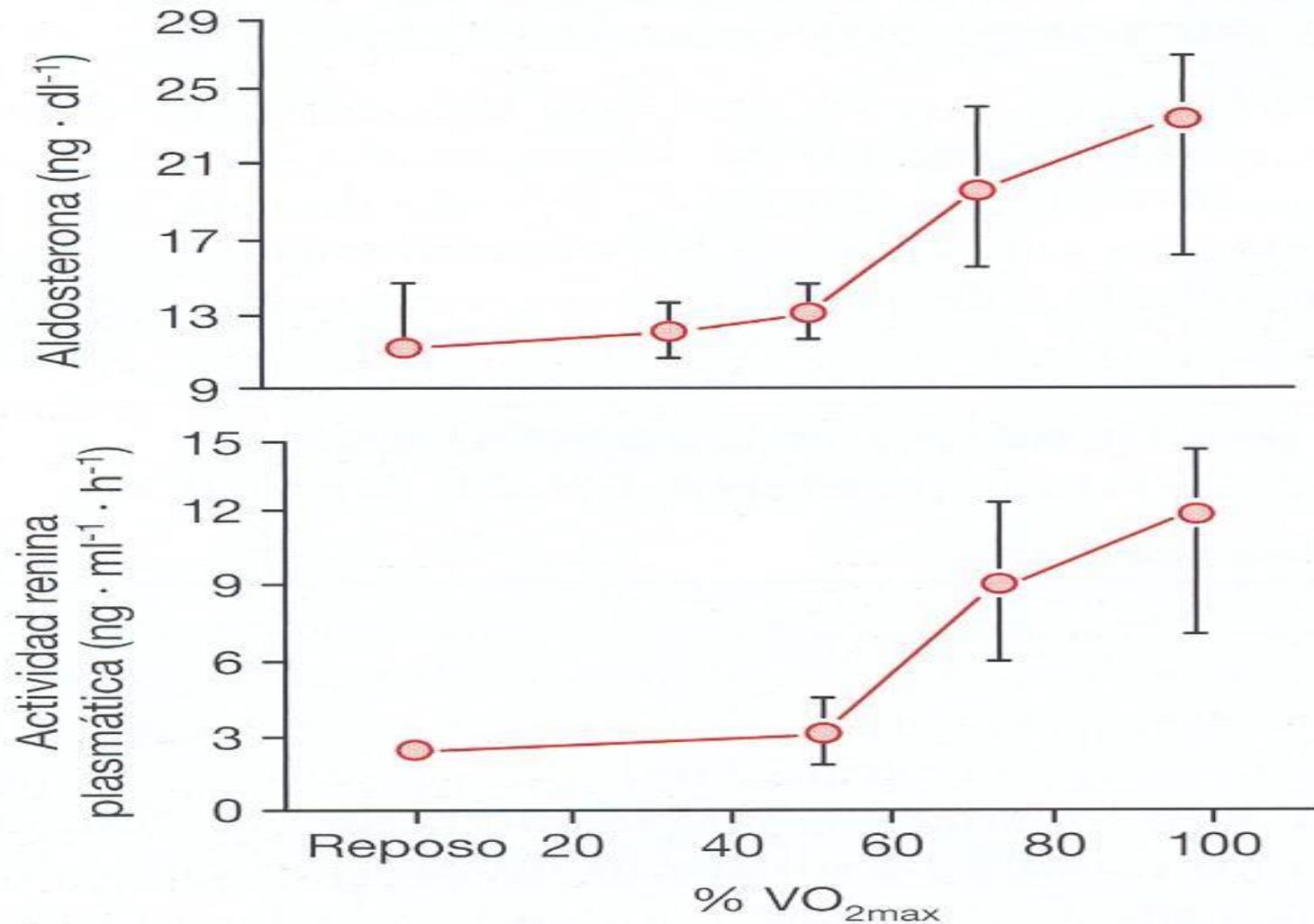
**Figura 31.7.** Respuestas de las catecolaminas plasmáticas al ejercicio incremental.



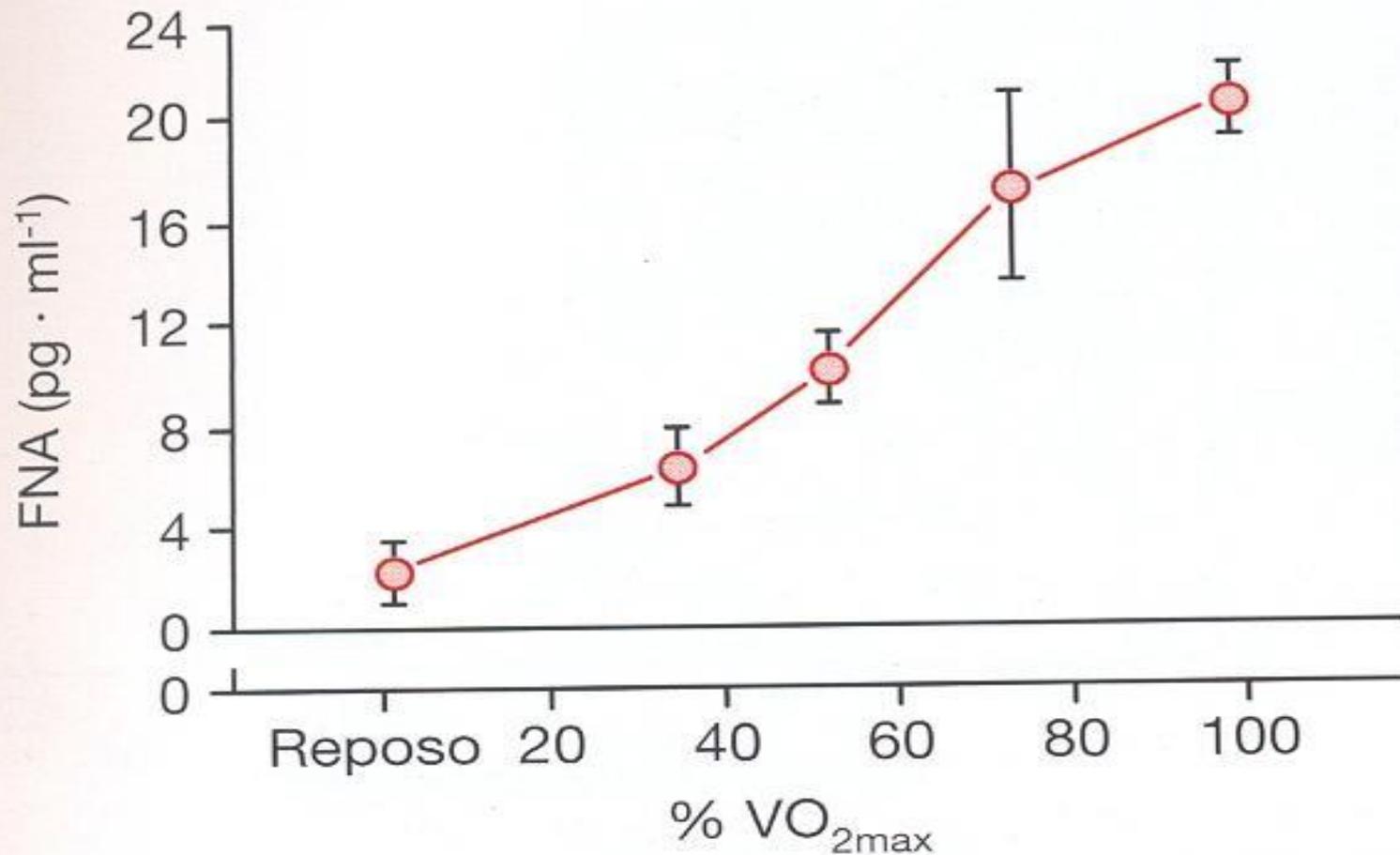
**Figura 31.8.** Efectos de la adrenalina sobre la glucogenólisis muscular.



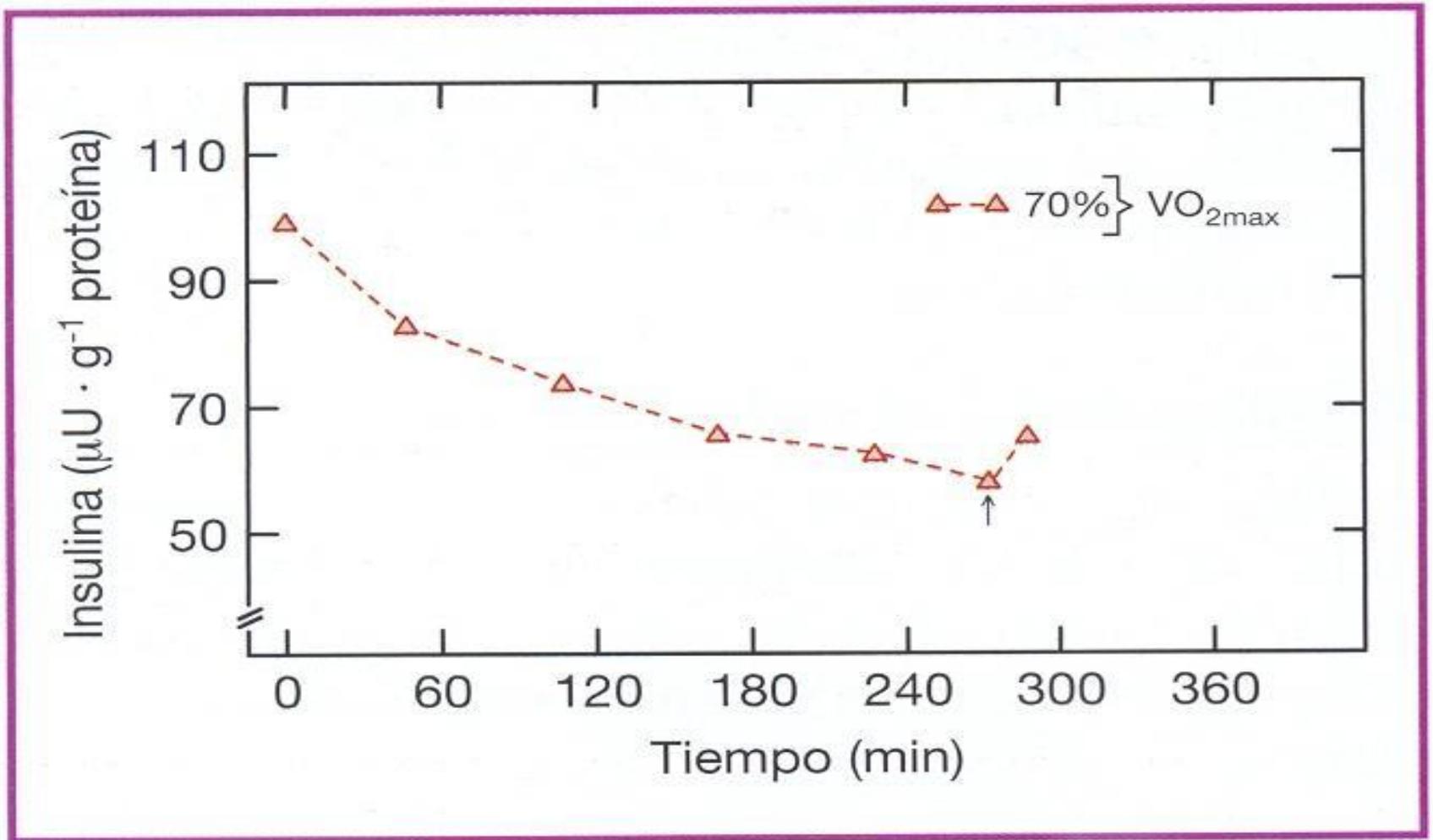
**Figura 31.9.** Efecto del ejercicio sobre la lipasa hormono-sensible.



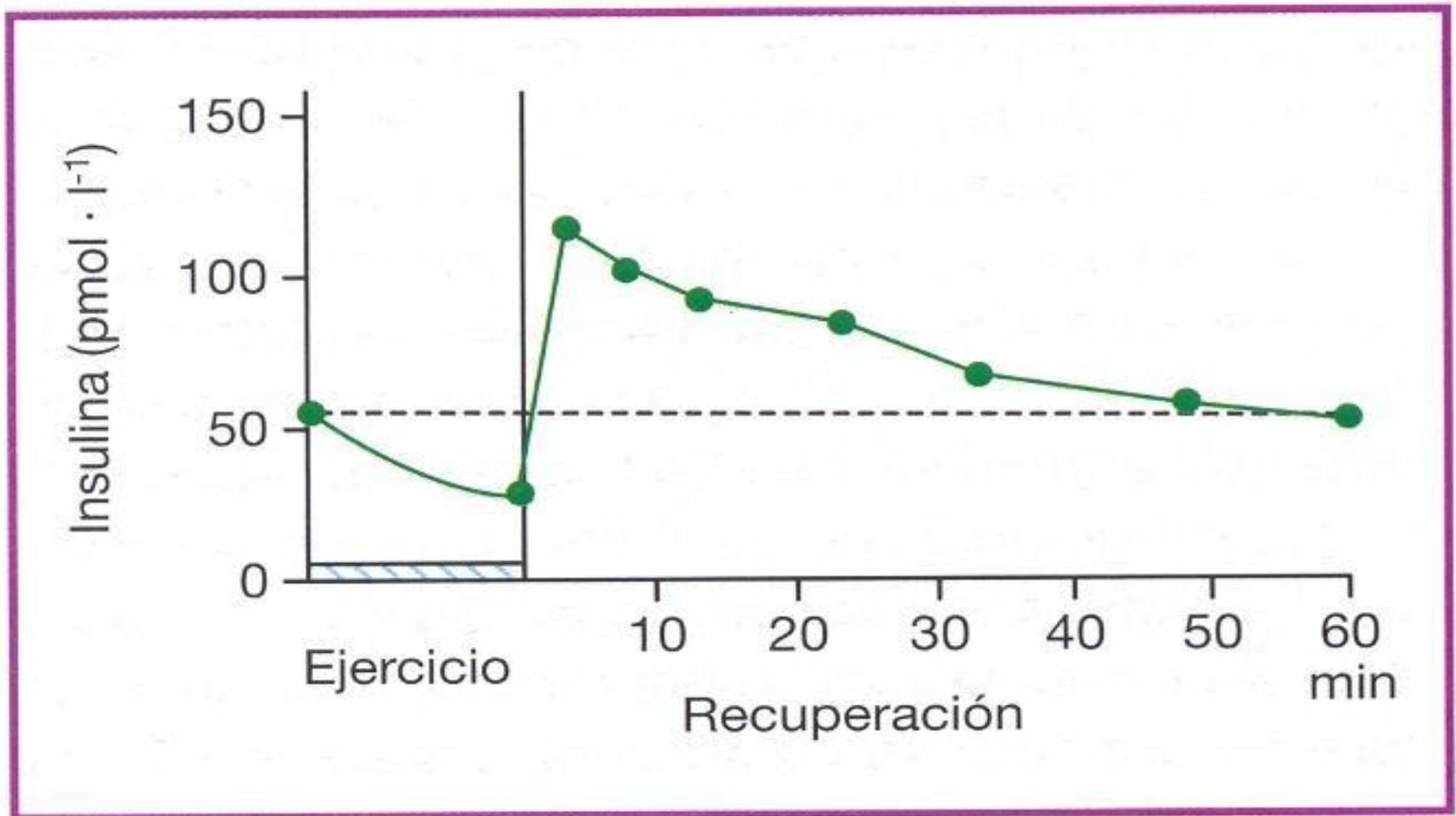
**Figura 31.10.** Respuestas plasmáticas de la aldosterona y de la actividad de la renina al ejercicio incremental.



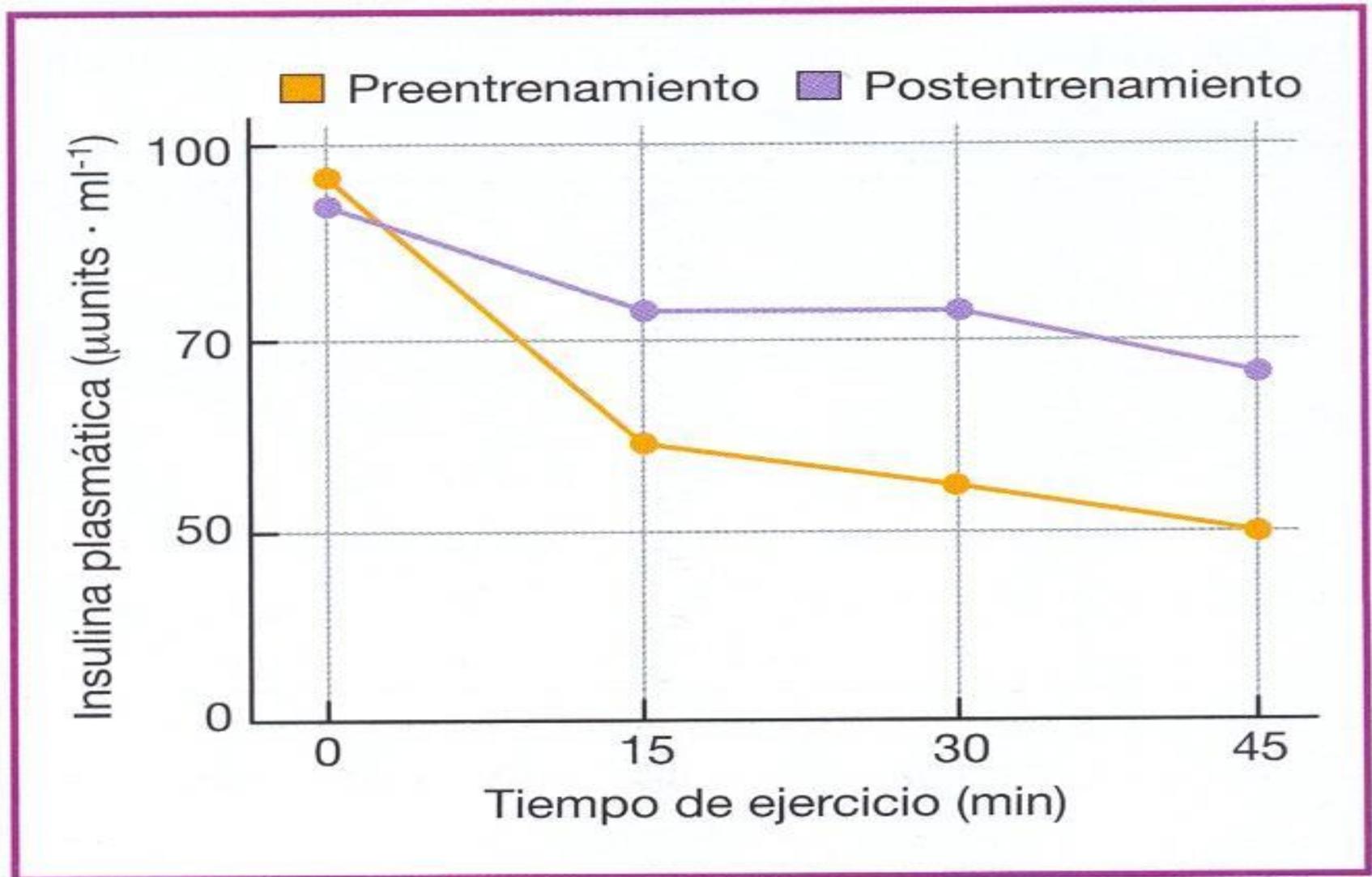
**Figura 31.11.** Respuesta plasmática del FNA al ejercicio incremental.



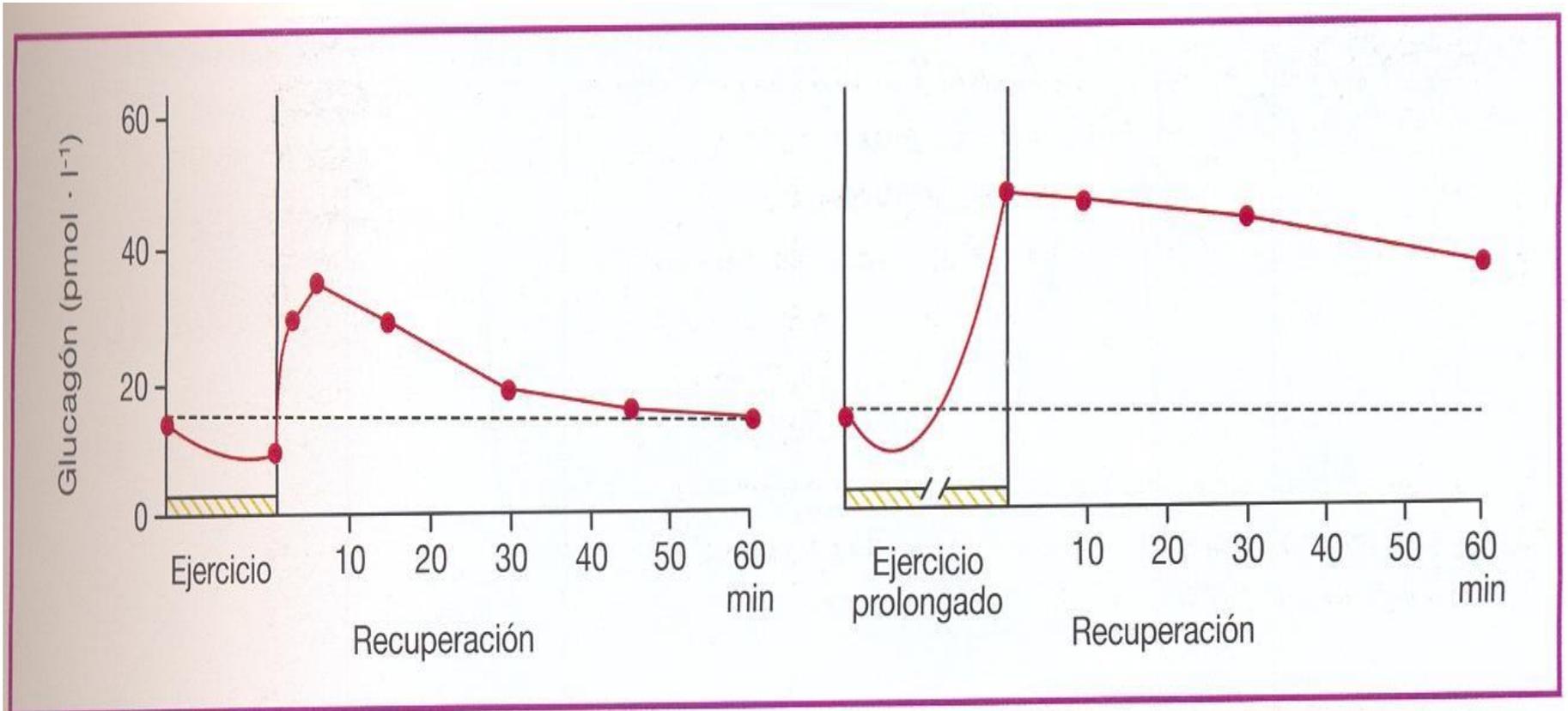
**Figura 31.12.** Respuestas de la concentración plasmática de insulina a diversas intensidades de ejercicio, durante la realización de ejercicio de 360 minutos de duración. ( $\uparrow$ ) agotamiento.



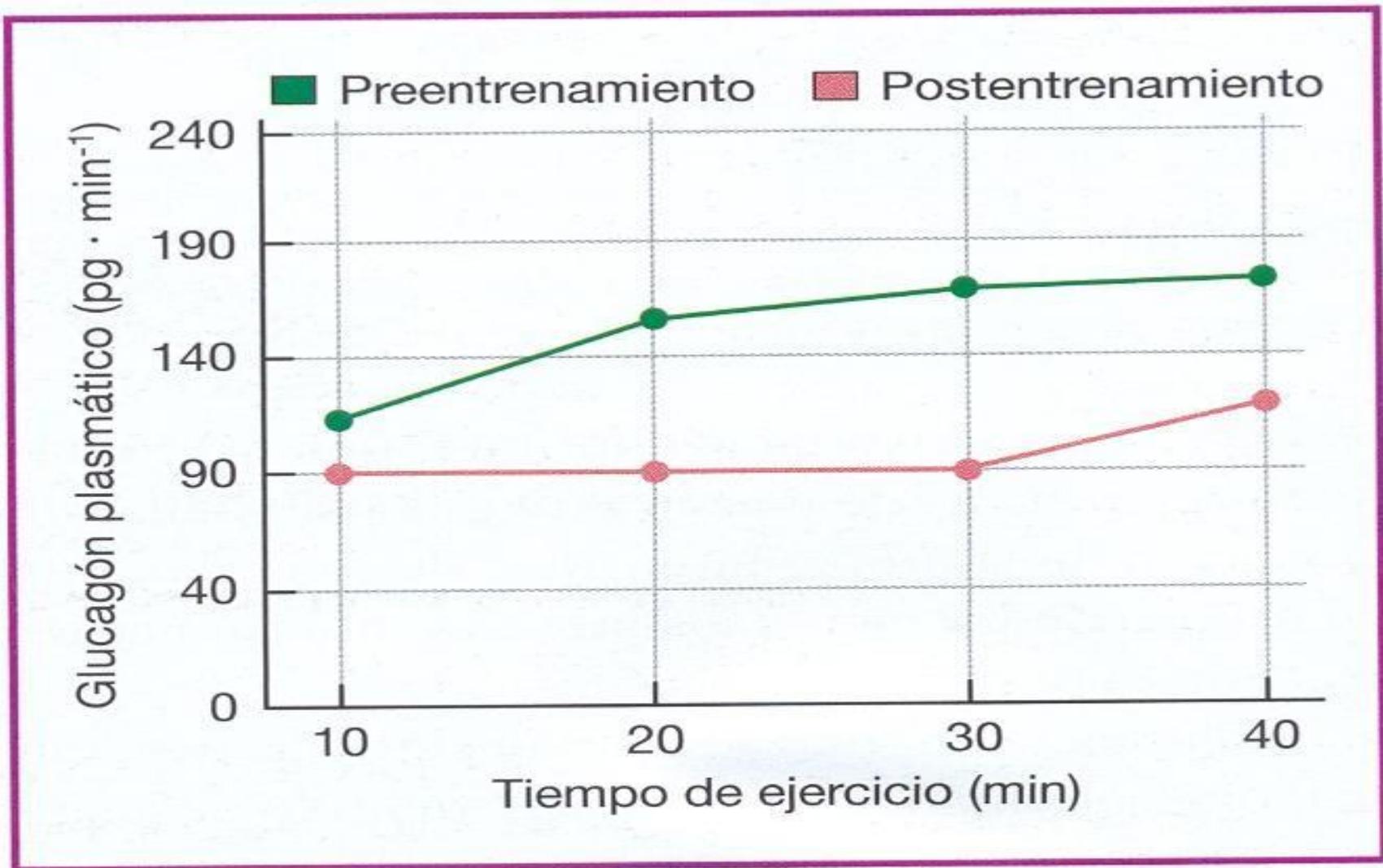
**Figura 31.13.** Respuesta de la concentración de insulina plasmática después de finalizar el ejercicio (20 minutos al 80%  $VO_{2max}$ ). (Modificada de Poortmans JR, Boisseau N. *Biochimie des activités physiques*. Ed de Boech, 2003.)



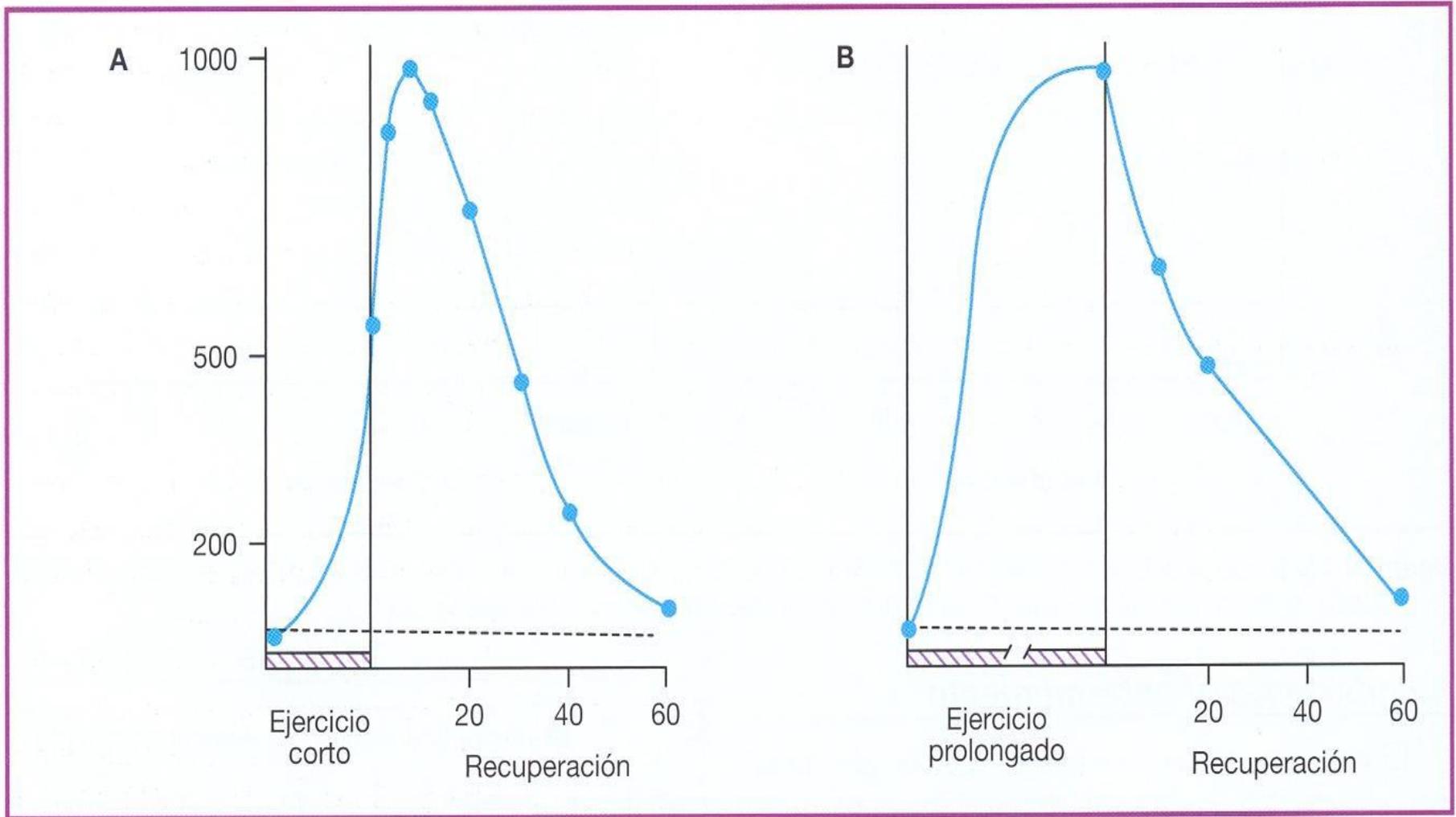
**Figura 31.14.** Respuesta de la concentración de la insulina plasmática al ejercicio, antes y después de 20 semanas de entrenamiento.



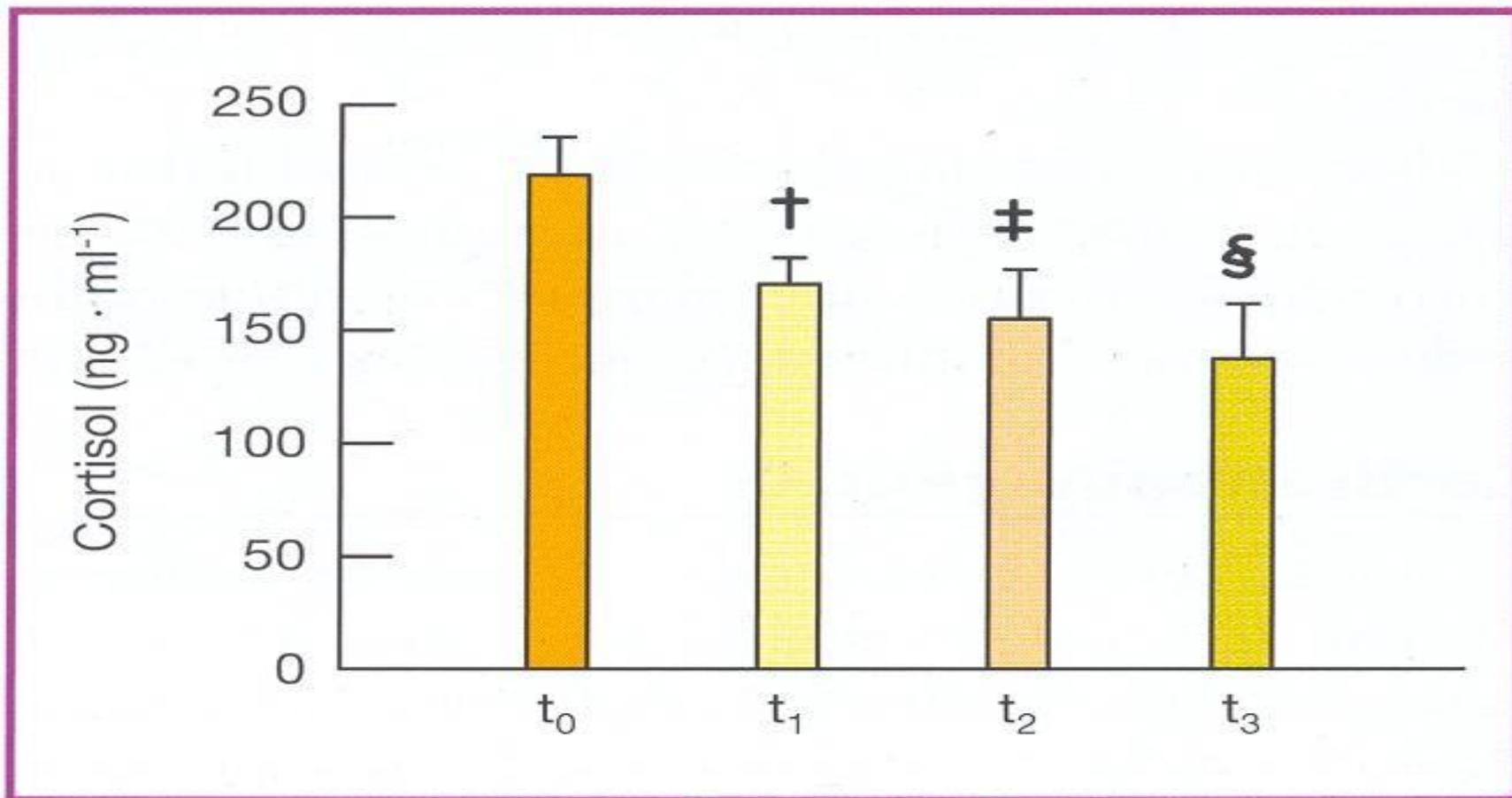
**Figura 31.15.** Variaciones de la concentración plasmática de glucagón. **A.** 20 minutos al 80% VO<sub>2max</sub> **B.** 60 minutos al 70% VO<sub>2max</sub> (Modificada de Poortmans JR, Boisseau N. Biochimie des activités physiques. Ed de Boech, 2003.)



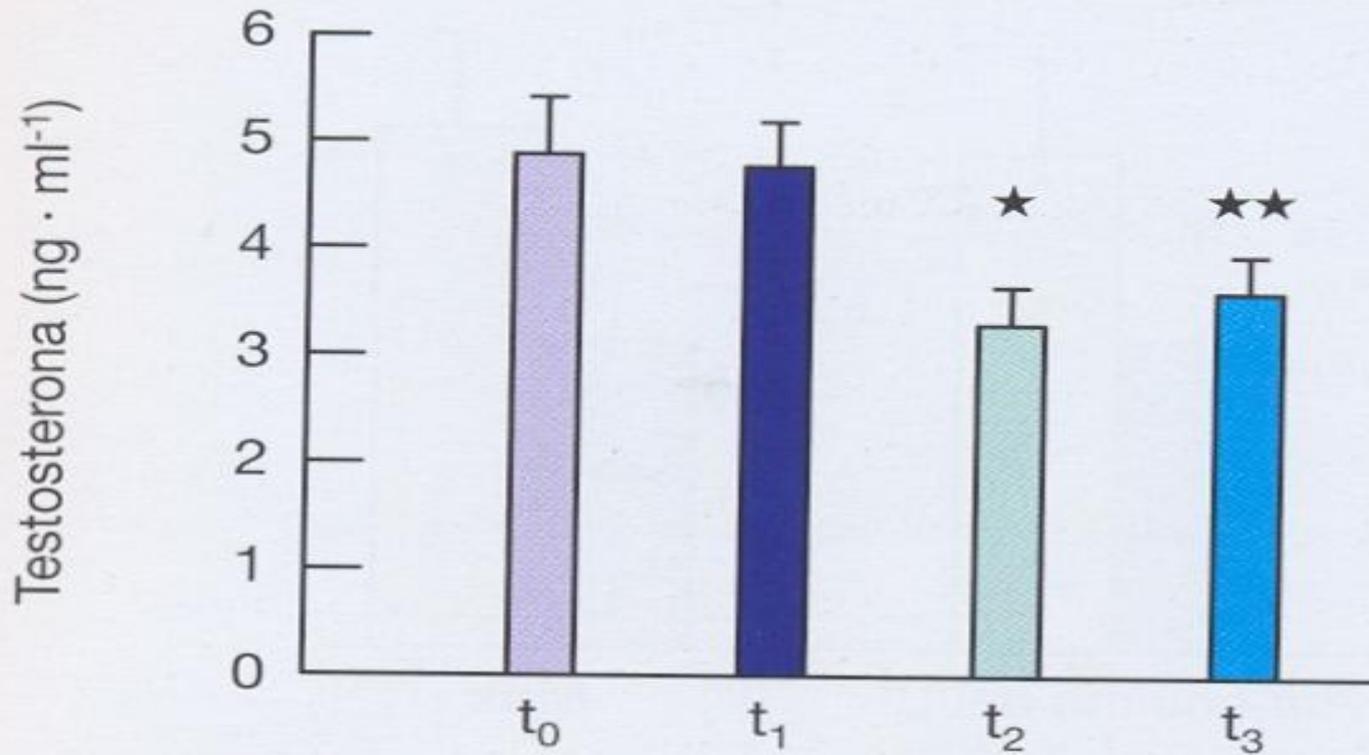
**Figura 31.16.** Respuesta de la concentración plasmática de glucagón al ejercicio, antes y después de 20 semanas de entrenamiento.



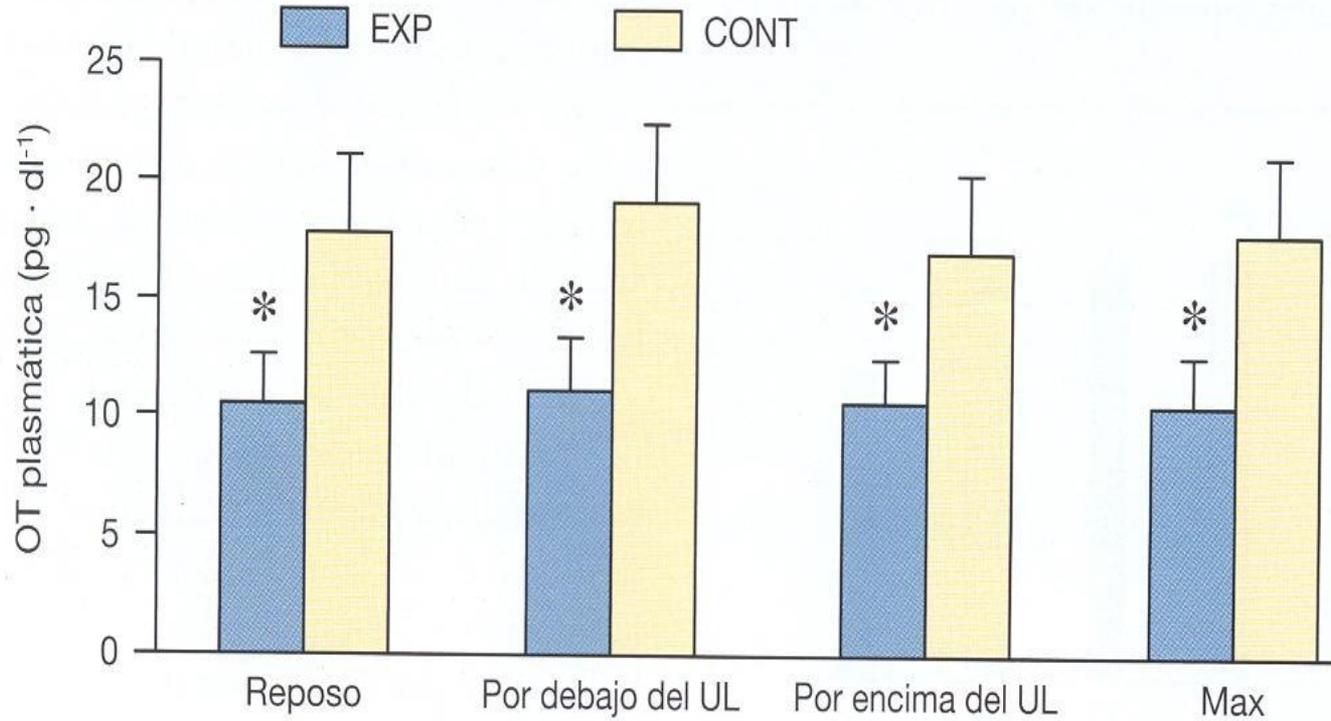
**Figura 31.17.** Respuestas de la GH al ejercicio. **A.** 20 minutos al 80%  $VO_{2max}$ . **B.** 60 minutos al 70%  $VO_{2max}$ . (Modificada de Galbo H, Gollnick PD. Hormonal changes during and after exercise. En: Maaconnet P, Poortmans JR, Hermansen L [ed.]. *Physiological Chemistry of training and detraining*. Basel: Karger S, 1984; 97-110.)



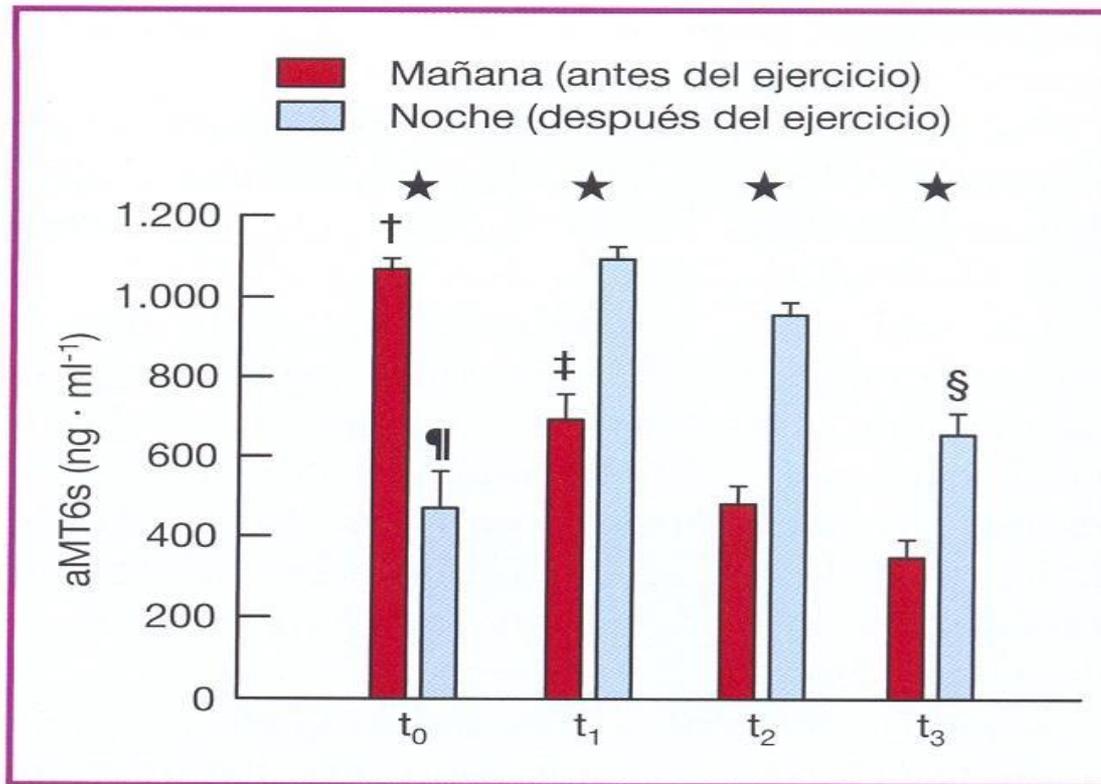
**Figura 31.19.** Niveles séricos de cortisol por la mañana antes de la competición ( $t_0$ ), y al final de la primera ( $t_1$ ), segunda ( $t_2$ ) y tercera semana ( $t_3$ ). (†)  $p < 0,05$  para  $t_1$  vs  $t_0$ ; (‡)  $p < 0,01$   $t_2$  vs  $t_0$ ; (§)  $p < 0,01$   $t_3$  vs  $t_0$ . (Modificada de Lucía A, Díaz B, Hoyos J, Fernández C, Villa G, Bandrés F, Chicharro JL. Hormone levels of world class cyclists during the Tour of Spain stage race. *Br J Sports Med*, 2001; 35:424-430.)



**Figura 31.20.** Niveles séricos de testosterona por la mañana antes de la competición ( $t_0$ ), y al final de la primera ( $t_1$ ), segunda ( $t_2$ ) y tercera semana ( $t_3$ ). \*  $p < 0,01$   $t_2$  vs  $t_0$  y  $t_1$  \*\*  $p < 0,01$   $t_2$  vs  $t_0$  y  $t_1$ . (Modificada de Lucía A, Díaz B, Hoyos J, Fernández C, Villa G, Bandrés F, Chicharro JL. Hormone levels of world class cyclists during the Tour of Spain stage race. *Br J Sports Med*, 2001; 35:424-430.)



**Figura 31.21.** Concentraciones de oxitocina (OT) plasmática en los grupos control (CONT) y experimental (EXP). En todos los sujetos se obtuvieron muestras de sangre antes del ejercicio (reposo), a una intensidad de ejercicio por debajo del UL y por encima del UL, e inmediatamente después de terminar el ejercicio (Max). Las concentraciones correspondientes a por debajo de UL, por encima de UL y max. se corrigieron para la hemoconcentración inducida por el ejercicio según el método descrito (20). (\*) Diferencias significativas entre EXP y CONT ( $p < 0,01$ ). No existieron diferencias dentro de los grupos. (Modificada de Chicharro JL, Hoyos J, Bandrés F, Gómez Gallego F, Pérez M, Lucía A. Plasma oxytocin during intense exercise in professional cyclists. *Horm Res*, 2001; 55:155-159.

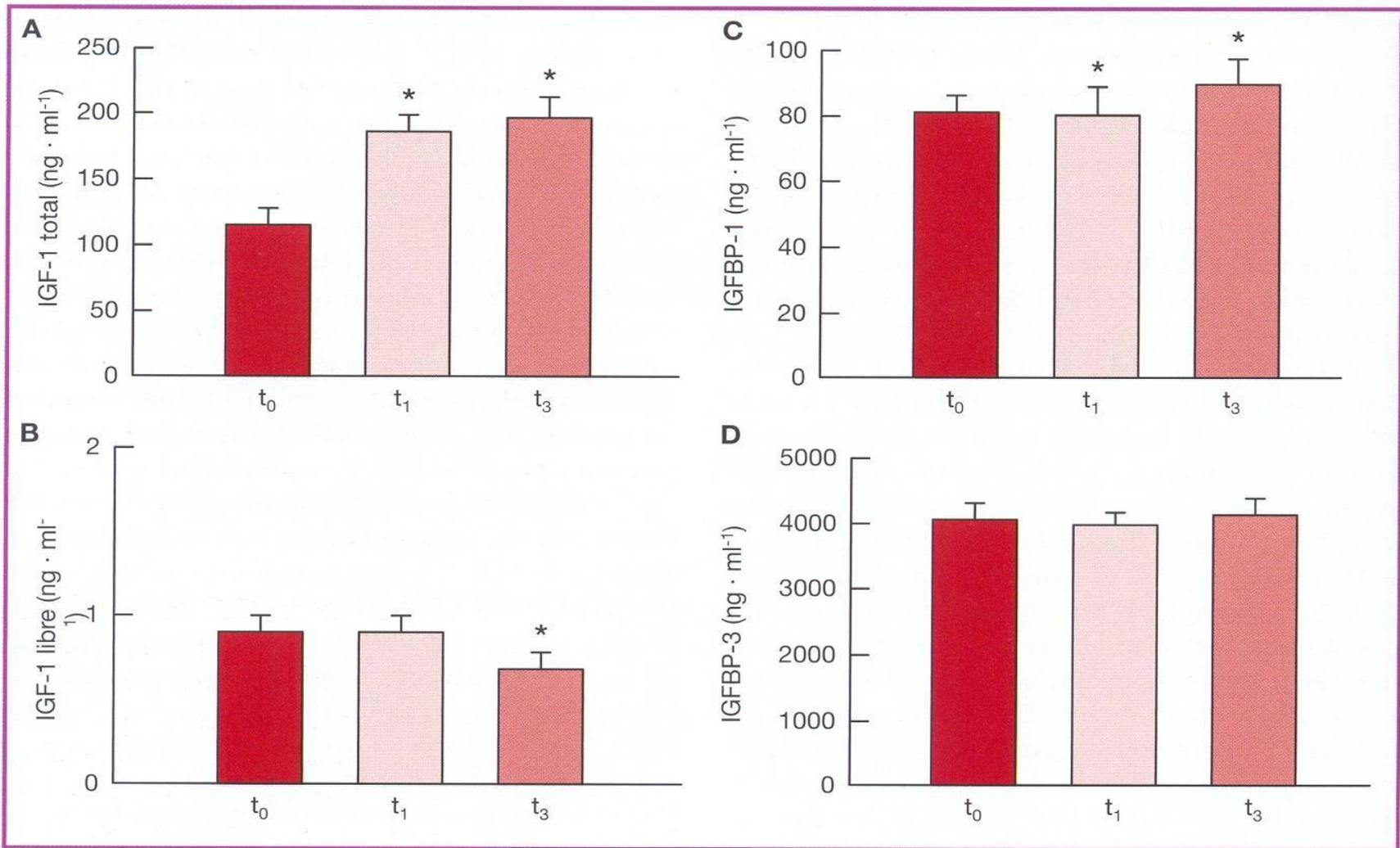


**Figura 31.22.** Concentraciones de sulfatoxina latonina (aMT6s) por la mañana (09:00-09:30) y por la noche (20:00-20:30) en orina antes de la competición (t<sub>0</sub>) y al final de la primera (t<sub>1</sub>), segunda (t<sub>2</sub>) y tercera (t<sub>3</sub>) semanas. Los valores se expresan como media (EEM). Se obtuvieron las siguientes diferencias significativas. (\*)  $p < 0,01$  para mañana vs noche; (†)  $p < 0,01$  para mañana t<sub>0</sub> vs mañana t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub> y t<sub>3</sub>; (‡)  $p < 0,01$  para mañana t<sub>1</sub> vs mañana t<sub>2</sub> y t<sub>3</sub>; (§)  $p < 0,01$  para noche t<sub>3</sub> vs noche t<sub>1</sub> y t<sub>2</sub>; y  $p < 0,05$  para noche t<sub>3</sub> vs noche t<sub>0</sub>;  $p < 0,01$  para noche t<sub>0</sub> vs noche t<sub>2</sub> ( $p < 0,01$ ). (Modificada de Lucía A, Díaz B, Hoyos J, Fernández C, Villa G, Bandrés F, Chicharro JL. Hormone levels of world class cyclists during the Tour of Spain stage race. *Br J Sports Med*, 2001; 35:424-430.)

**Tabla 1****Concentraciones de TSH y de hormona tiroidea (media  $\pm$  DE) durante las tres semanas de competición**

	<b>t0</b>	<b>t1</b>	<b>t2</b>	<b>t3</b>
TSH, $\mu\text{IU} \cdot \text{ml}^{-1}$	$1,1 \pm 0,6$	$1,5 \pm 0,6$	$1,5 \pm 0,7$	$1,4 \pm 0,8$
T4 $\mu\text{g} \cdot \text{dl}^{-1}$	$7,3 \pm 1,1$	$6,5 \pm 0,9$	$6,8 \pm 1,5$	$8,3 \pm 1,5^{1,2}$
FT <sub>4</sub> , $\text{pmol} \cdot \text{l}^{-1}$	$5,2 \pm 1,5$	$15,3 \pm 1,4$	$16,0 \pm 1,6$	$17,5 \pm 2,1^b$
T <sub>3</sub> , $\text{ng} \cdot \text{ml}^{-1}$	$1,3 \pm 0,7$	$1,0 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,3$	$1,0 \pm 0,2$
FT <sub>3</sub> , $\text{pmol} \cdot \text{l}^{-1}$	$5,2 \pm 1,0$	$4,9 \pm 0,6$	$5,0 \pm 0,6$	$6,0 \pm 0,9^b$

<sup>1</sup>  $p < 0,05$ , diferencia significativa entre los valores obtenidos en t<sub>3</sub> y t<sub>0</sub>; <sup>2</sup>  $p < 0,05$ , diferencia significativa entre los valores obtenidos en t<sub>3</sub> y el resto de las muestras. TSH: tiotropina; T<sub>4</sub>, tiroxina; FT<sub>4</sub>, T<sub>4</sub> libre; T<sub>3</sub>: 3,53'-triyodo tironina, FT<sub>3</sub>; T<sub>3</sub> libre; t<sub>0</sub>: control precompetición; t<sub>1</sub>: fin de la 1ª semana; t<sub>2</sub>: fin de la 2ª semana; t<sub>3</sub>: fin de la 3ª semana. (Modificada de Chicharro JL, Hoyos J, Bandrés F, Terrados N, Fernández B, Lucía A. Thyroid hormone levels during a 3-week professional road cycling competition. Horm Res, 2001; 56:159-164.)



**Figura 31.18. A.** Comparación de las concentraciones séricas de reposo del factor de crecimiento similar a la insulina (IGF-1) total. Los valores se expresan como media (DEM). (\*)  $p < 0,01$  para la comparación entre  $t_0$  y  $t_1$  y  $t_3$ . **B.** Comparación de las concentraciones séricas de reposo del factor de crecimiento similar a la insulina (IGF-1) libre. Los valores se expresan como media (DEM). (\*)  $p < 0,01$  para la comparación de  $t_3$  frente a  $t_0$  y  $t_1$ . **C.** Comparación de las concentraciones séricas de reposo de la proteína 1 ligadora de factor de crecimiento similar a la insulina (IGFBP-1). Los valores se expresan como media (DEM). (\*)  $p < 0,01$  para la comparación de  $t_0$  frente a  $t_1$  y  $t_3$ . **D.** Concentraciones séricas de la proteína 3 ligadora de factor de crecimiento similar a la insulina (IGFBP-3) durante la competición. Los valores se expresan como media (DEM). No hubo diferencias significativas entre medias. (Modificada de Chicharro JL, López-Calderón A, Hoyos J, Martín-Velasco AI, Villa G, Villanúa MA, Lucía A. Effects of an endurance cycling competition on resting serum insulin-like growth factor I (IGF-I) and its binding proteins IGFBP-1 and IGFBP-3. *Br J Sports Med*, 2001; 35:303-307.)

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1) CHICHARRO J.L., Vaquero A.F. Fisiología del ejercicio. Editorial Panamericana. Tercera edición, 2006. Capitulo 31**
- 2) BOWERS W.R., FOX E. L. Fisiología del Deporte. Tercera Edición. Ed. Panamericana, 1995.**