



El entrenamiento *interválico* **aeróbico de alta intensidad (HIIT)** se caracteriza esencialmente por:

- Ser un **ejercicio discontinuo**
- Estructurarse en **periodos de ejercicio de corta duración** (generalmente < 5 min)
- Caracterizarse por **periodos de recuperación entre intervalos de ejercicio**, que pueden ser pasivos (caminar se considera pasivo) o activos (ejercicio)

## Bases fisiológicas del **HIIT**



Es muy importante considerar que, por concepto: “el tiempo total en HIIT (suma de todos los intervalos de ejercicio) debería ser mayor que el tiempo que el atleta puede alcanzar en una sesión de ejercicio continuo a la misma intensidad hasta el agotamiento”. Así, si a 19 km/h un deportista es capaz de soportar 10 min hasta el agotamiento, la suma de tiempos de los intervalos desarrollados a 19 km/h en una sesión de HIIT debería superar esos 10 min (ej. 6 intervalos de 3 min = 18 min).

El entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad tiene su sentido más relevante en lograr un mayor tiempo en intensidades de ejercicio que no pueden ser sostenidas de manera continua durante un tiempo prolongado.

---

«El tiempo total en HIIT (suma de todos los intervalos de ejercicio) **debería ser mayor** que el tiempo que el atleta puede alcanzar en una sesión de ejercicio continuo a la misma intensidad hasta el agotamiento»

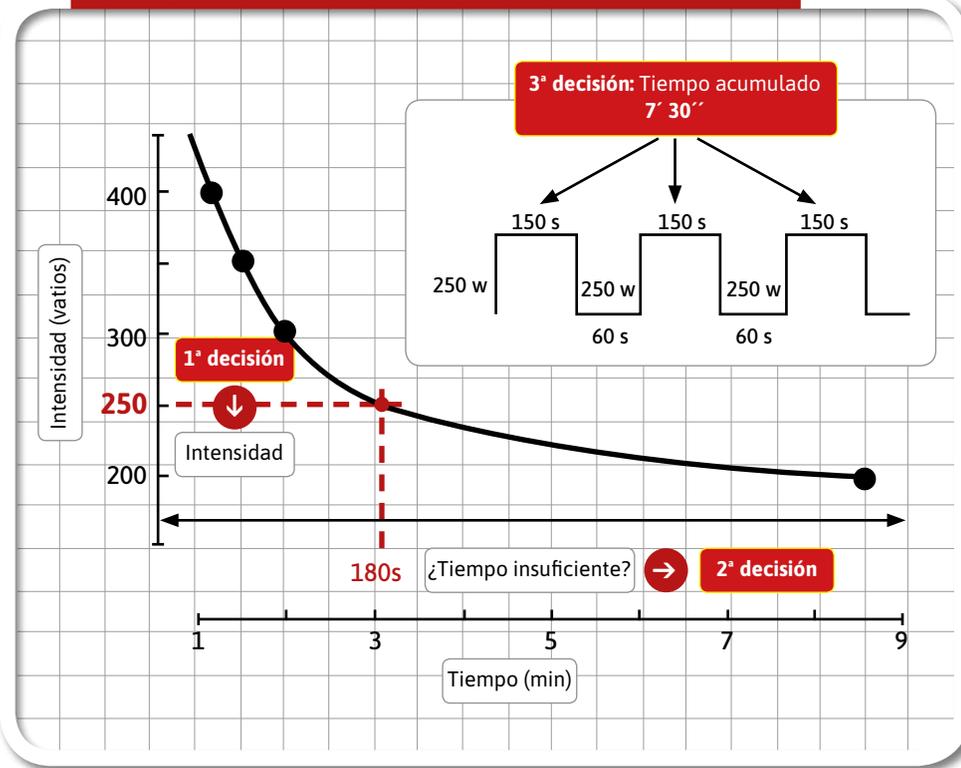
---

Para cualquier persona, el máximo tiempo sostenible a una determinada intensidad de ejercicio se expresa como una relación hiperbólica (exponencial), de tal manera que a mayor intensidad menor tiempo de ejecución hasta la fatiga (*Figura 9*).

Así, una intensidad de ejercicio asociada a la v/p  $VO_{2max}$  (VAM/PAM) puede ser sostenida entre 4 y 6 min, mientras que una intensidad del 120% VAM/PAM podrá soportarse en un rango de 2-2,5 min, dependiendo de la capacidad del atleta y estado de entrenamiento.

En base a esa relación intensidad-tiempo de agotamiento el entrenador tiene que tomar distintas decisiones a la hora de estructurar una sesión de HIIT. El punto de partida hace referencia a la intensidad idónea seleccionada para la mejora de la potencia aeróbica (ej. 250 W). La elección de la intensidad (1ª decisión) se basa generalmente en datos fisiológicos obtenidos de manera directa (ergoespirometría) o indirecta. El entrenador debe valorar entonces el tiempo hasta la fatiga que el atleta es capaz de soportar a esa intensidad (siguiendo el ejemplo: 180

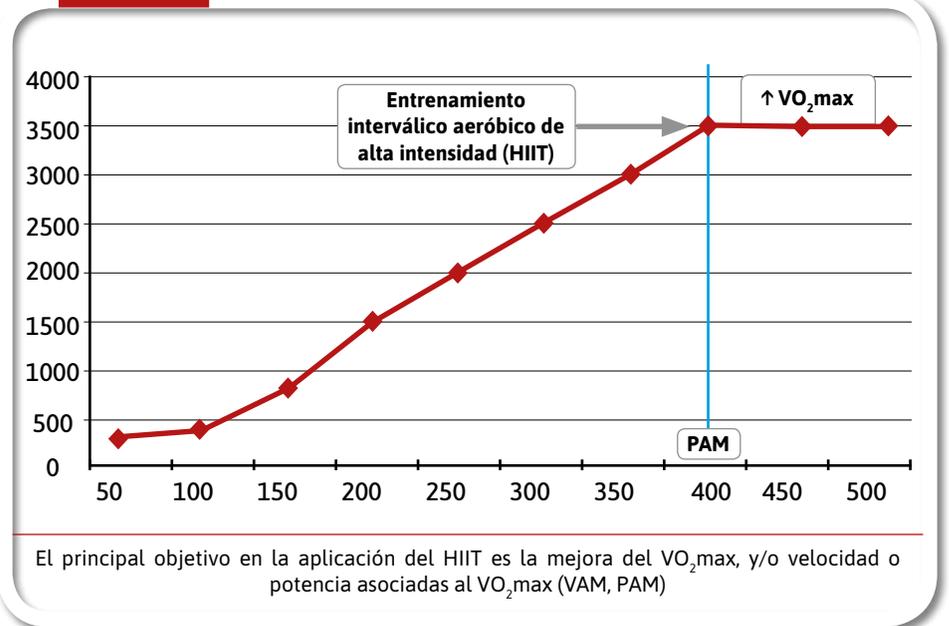
→Figura 9. Relación hiperbólica entre intensidad de ejercicio y tiempo hasta el agotamiento. Decisiones de base para estructurar una sesión de HIIT



s), y decidir (2ª decisión) si ese tiempo es suficiente para lograr las adaptaciones que pretende. Obviamente esta decisión no se debe tomar arbitrariamente, sino en base al conocimiento científico, perfil del deportista y por qué no, experiencia del entrenador. Si la respuesta es “no es un tiempo suficiente”, entonces la única opción es planificar un entrenamiento interválico manteniendo la intensidad con periodos más breves que el correspondiente al tiempo hasta el agotamiento (<180 s) e intercalando periodos de recuperación. Al margen de la propia estructura del entrenamiento interválico, la tercera gran decisión del entrenador será ahora: ¿cuánto tiempo acumulado (suma de tiempos de intervalos) se necesita para optimizar las adaptaciones pretendidas? Esta tercera decisión determinará el número de intervalos a desarrollar, y estará nuevamente condicionada al conocimiento científico, perfil del deportista y experiencia del entrenador (*Figura 9*).

**«El principal objetivo del HIIT es la mejora del  $VO_{2max}$  y por extensión la progresión de la VAM (velocidad aeróbica máxima) o de la PAM (potencia aeróbica máxima)»**

→Figura 10

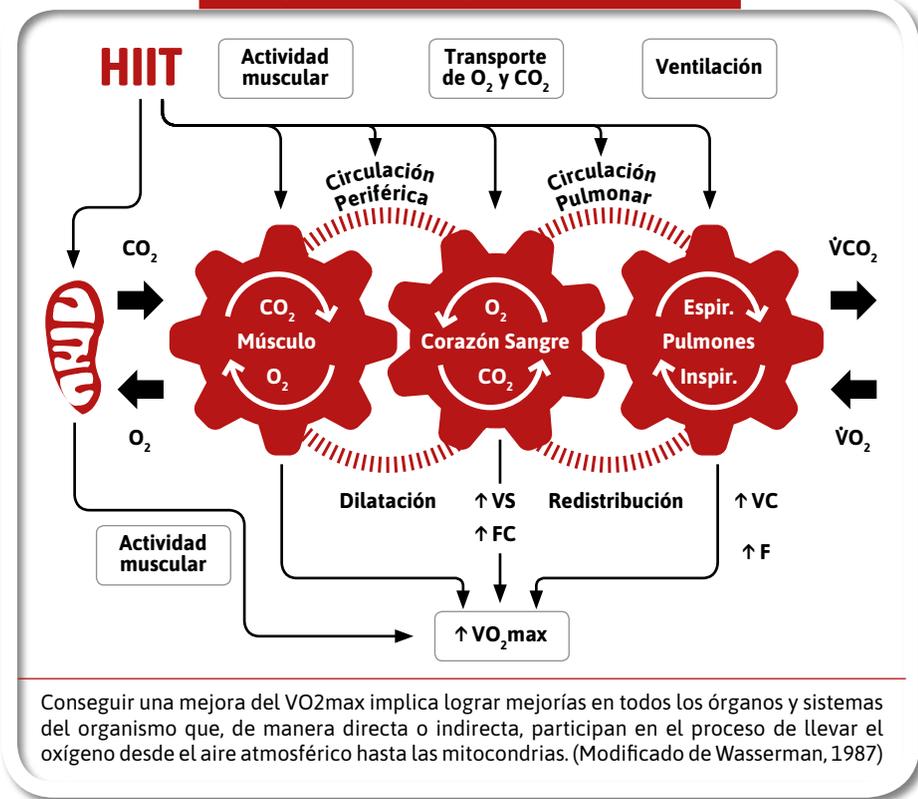


El principal objetivo en la aplicación del HIIT es la mejora del  $VO_{2max}$ , y/o velocidad o potencia asociadas al  $VO_{2max}$  (VAM, PAM)

En cualquier caso, lo que debemos tener claro es que el principal objetivo del HIIT es la mejora del  $VO_2\text{max}$  y por extensión la progresión de la **VAM** (velocidad aeróbica máxima) o de la **PAM** (potencia aeróbica máxima)

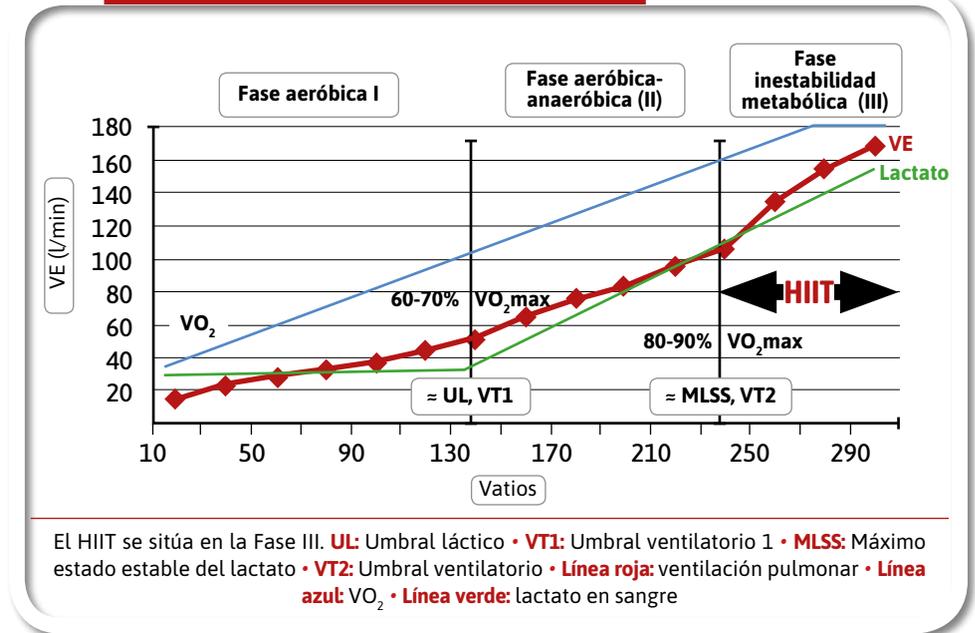
Evidentemente, la aplicación del HIIT hará mejorar muchas cualidades fisiológicas del entorno oxidativo, cardiovascular, metabólico, muscular, glucolítico, etc., especialmente cuando se parte de niveles bajos de adaptación fisiológica, pero el principal objetivo, al menos desde la vertiente del rendimiento, será el  $VO_2\text{max}$ . (Figura 10)

→Figura 11. Influencia del HIIT sobre los principales órganos y sistemas implicados en el ejercicio



Conseguir una mejora del  $VO_2\text{max}$  implica lograr mejorías en todos los órganos y sistemas del organismo que de manera directa o indirecta participan en el proceso de llevar el oxígeno desde el aire atmosférico hasta las mitocondrias (Figura 11). Es por ello por lo que el  $VO_2\text{max}$  es una variable tan integradora fisiológicamente, no solo para el rendimiento

→Figura 12. Modelo trifásico de intensidad de ejercicio



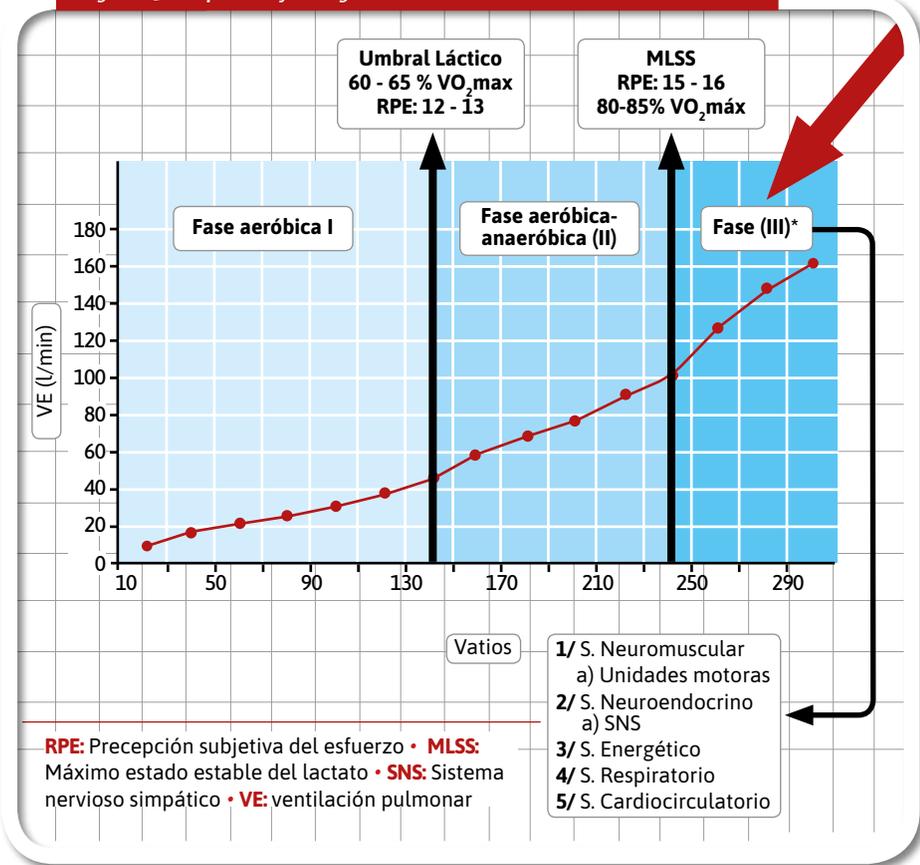
en resistencia aeróbica, sino también para el fitness cardiorrespiratorio del sujeto o de la salud en general. En este sentido, igual que el  $VO_2\text{max}$  es considerado como un excluyente del rendimiento aeróbico cuando los valores alcanzados no llegan a un cierto nivel, desde un punto de vista de la salud, los valores de  $VO_2\text{max}$  muestran una relación inversa con cualquier causa de muerte.

«El HIIT se desarrolla en la denominada **FASE III o Fase de inestabilidad metabólica**»

## RESPUESTAS FISIOLÓGICAS AL EJERCICIO INTERVÁLICO AERÓBICO DE ALTA INTENSIDAD

El modelo trifásico de intensidad de ejercicio en resistencia aeróbica, nos muestra que el HIIT se desarrolla en la denominada FASE III o Fase de inestabilidad metabólica, es decir, una vez superado el máximo estado estable del lactato ó umbral ventilatorio 2 (Figura 12).

→Figura 13. Respuestas fisiológicas en Fase III donde se desarrolla el HIIT



Es en esta fase donde se alcanzará el VO<sub>2</sub>max, gasto cardiaco máximo, frecuencia cardiaca máxima, ventilación pulmonar máxima, etc., lo que lo convierte en el rango de intensidad idónea para la mejora de la potencia aeróbica.

Hay que tener en cuenta que el rango de intensidades en Fase III es amplio, y por tanto también lo serán las respuestas y por extensión las adaptaciones obtenidas. Así, no es lo mismo entrenar en Fase III inicial (cerca del máximo estado estable del lactato, MLSS) que hacerlo en Fase III avanzada (cerca del punto de agotamiento), lo que obliga a tomar referencias de intensidades en el seno de la propia Fase III.

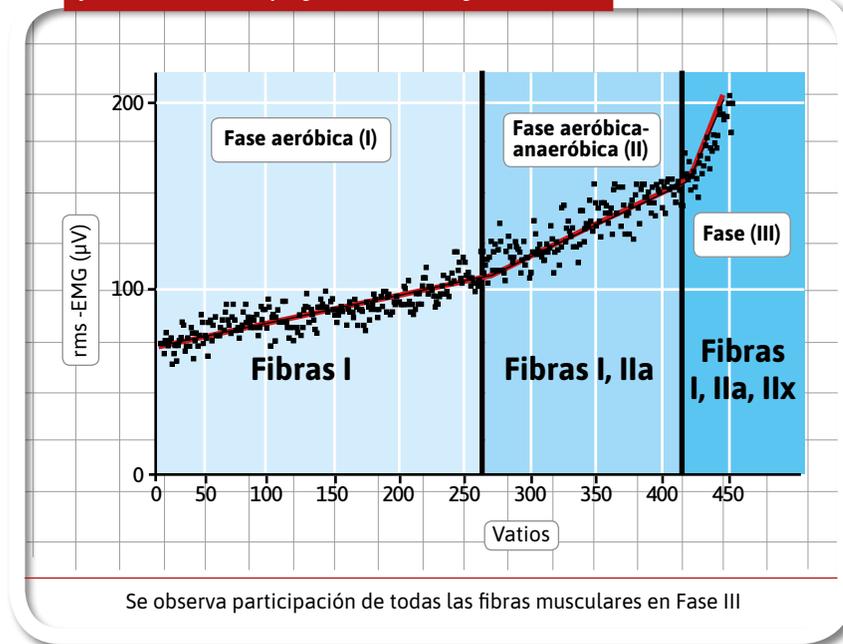
Ya que el entrenamiento de HIIT se va a desarrollar en Fase III, debemos conocer las respuestas fisiológicas más relevantes que acontecen en Fase III. Solo así podremos justificar la oportunidad de decidir la aplicación de esta modalidad de entrenamiento. (Figura 13)

Repasemos a continuación las respuestas fisiológicas más relevantes que acontecen en la Fase III de intensidad de ejercicio aeróbico, tomando como consideraciones generales que la denominada fase III se caracteriza esencialmente por la participación progresiva de todas las unidades motoras (I,IIa, IIx), un metabolismo oxidativo con gran participación glucolítica citosólica, un medio interno celular progresivamente acidótico y un sistema cardiocirculatorio llevado gradualmente a su máxima capacidad hasta llegar a alcanzar la potencia aeróbica máxima (VO<sub>2</sub>max).

## SISTEMA NEUROMUSCULAR

En el transcurrir por la fase III y hasta llegar al esfuerzo máximo (agotamiento), el sistema neuromuscular muestra progresivamente su máxima capacidad de activación; así, las neuronas corticales se activan masivamente con el fin de reclutar a las unidades motoras que hasta ahora no habían participado activamente en generar tensión muscular, de manera que las unidades más rápidas van a ser reclutadas progresivamente, y con ello las fibras musculares tipo IIx (uniéndose a las tipo I y IIa que ya participaban activamente).

→Figura 14. Actividad electromiográfica durante un ejercicio incremental progresivo hasta el agotamiento



La participación progresiva de todas las unidades motoras posibles, y con ello las que habilitan las contracciones musculares más rápidas (IIx), posibilitan generar más tensión muscular (más fuerza aplicada).

Un análisis electromiográfico mediante iEMG (rms-EMG), realizado durante un test de esfuerzo incremental en cicloergómetro, muestra la mayor actividad bioeléctrica que se produce superado el umbral anaeróbico (VT2, MLSS) y hasta llegar a la fatiga muscular, como reflejo de la mayor participación de unidades motoras como hemos referido (figura 14).

Por tanto, podemos afirmar desde un punto de vista neuromuscular, que la fase III se caracteriza por la participación de las fibras musculares tipo IIx, fibras que se caracterizan por algo contenido en almacenes de glucógeno (al ser el sistema energético predominante la glucólisis), baja resistencia a la fatiga (como resultado del sistema glucolítico preponderante), baja concentración de mioglobina con pocos capilares por fibra (sistema aeróbico u oxidativo poco desarrollado) y elevada actividad ATPasa, con el fin de favorecer las contracciones musculares rápidas.

Por consiguiente, el ejercicio en fase III solo se podrá desarrollar durante periodos de tiempo no muy prolongados debido a los cambios que se producen en el medio interno celular al sostener contracciones musculares rápidas con base en las fibras IIx (esencialmente acidosis), y que llevan a la fatiga muscular; de ahí, que los sistemas interválicos (extensivos e intensivos) sean los utilizados como base para la mejora de la capacidad funcional, esencialmente del umbral anaeróbico y del  $VO_2$ max.

Durante el ejercicio realizado en esta fase III, esencialmente en cargas de trabajo cercanas al  $VO_2$ max, se producen grandes cambios en el balance ácido-base del organismo, debido a la gran producción de ácido láctico, que provoca un descenso importante en el pH sanguíneo e intramuscular, pudiendo llegar a valores de hasta 7 en sangre (pH arterial normal =  $7,4 \pm 0,02$ ) y 6,4 en el interior del músculo. Esta diferencia entre sangre y músculo es debida a que las concentraciones de ácido láctico son más elevadas en el interior del músculo que en la sangre, y que la capacidad *buffer* intramuscular es menor que la de los sistemas *buffer* en la sangre.

**«La mayor estimulación adrenal se alcanza durante la repetición de ejercicios muy intensos, esto es, durante el entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad»**

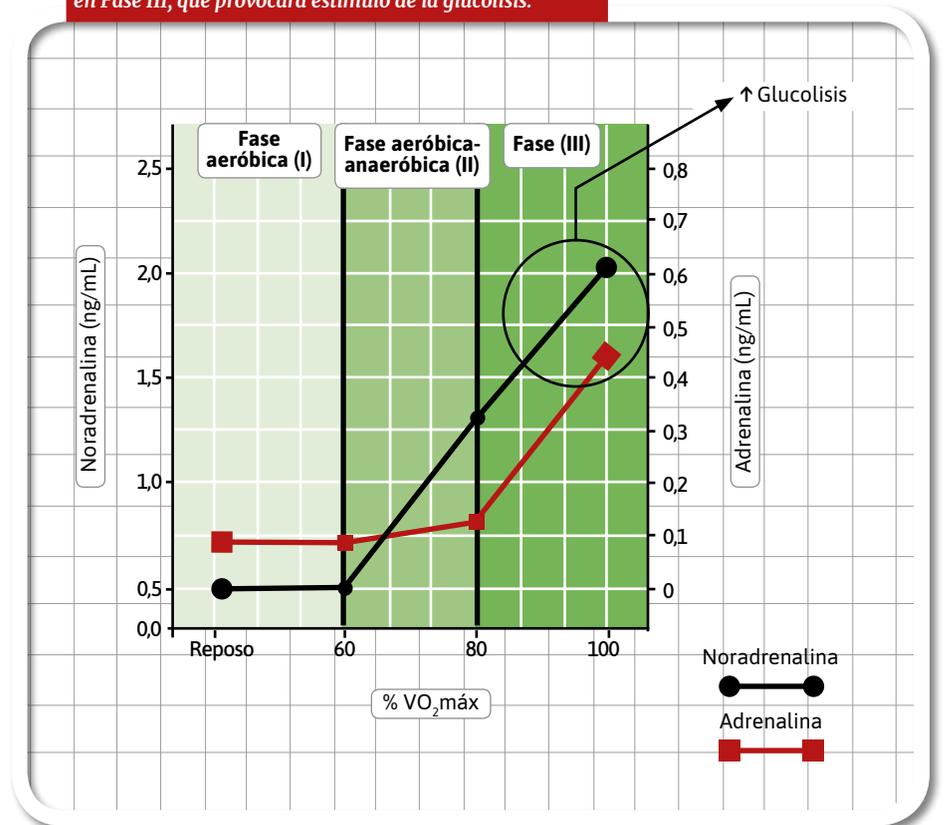
## SISTEMA NEUROENDOCRINO

En fase III se alcanzan las más altas cotas de estimulación simpático-adrenal, derivada tanto de la casi máxima activación del comando central, como de los estímulos procedentes del denominado comando periférico, que engloba a mecanorreceptores y metabolorreceptores de músculos activos especialmente.

La exigencia de respuesta de órganos y sistemas en relación a la intensidad de ejercicio soportada en esta fase III, justifica la muy importante activación del sistema simpático adrenal, que va a provocar como consecuencia inmediata una elevación progresiva de la concentración de catecolaminas circulantes (Figura 15).

Desde un punto de vista práctico es importante señalar que la mayor estimulación adrenal se alcanza durante la repetición de ejercicios muy intensos, esto es, durante el entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad.

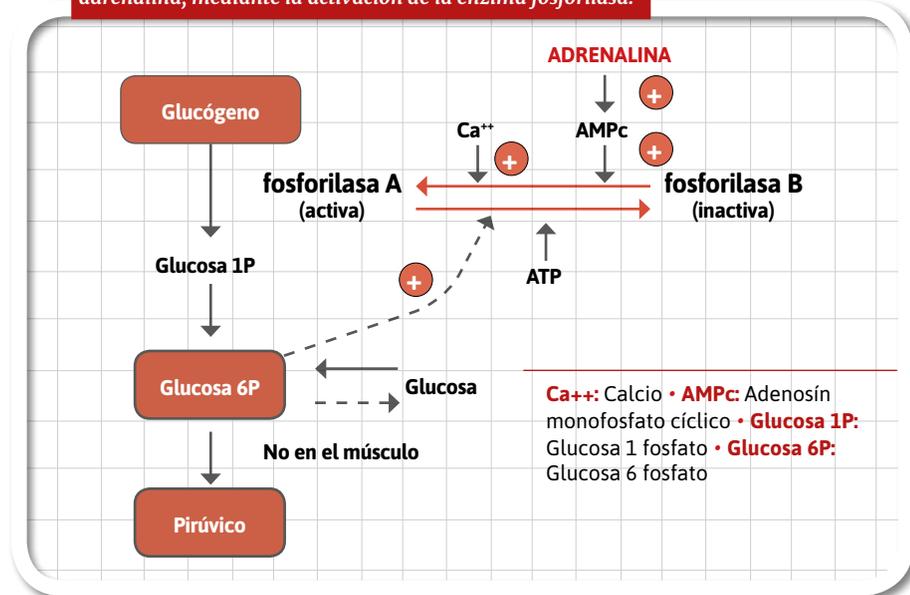
→Figura 15. Aumento de las catecolaminas circulantes en Fase III, que provocará estímulo de la glucólisis.



La respuesta del resto de hormonas sigue la tendencia iniciada en la Fase II que se caracterizaba por un aumento progresivo de sus valores. Así, la aldosterona tiene una respuesta dependiente de la intensidad del ejercicio, y por tanto alcanzará los valores más elevados en la máxima intensidad de ejercicio desarrollado, al mismo tiempo que el sistema renina-angiotensina alcanza su máxima actividad. Por su parte, la hormona antidiurética (ADH), dependiente también de la intensidad, puede aumentar hasta un 800% en tasas de trabajo cercanas a la máxima potencia aeróbica ( $VO_2\text{max}$ ). El factor natriurético auricular (FNA) también vincula su aumento a la intensidad del ejercicio. Respecto a la hormona del crecimiento (GH), el mayor nivel circulante en cuanto a ejercicio aeróbico se refiere, se alcanza durante el desarrollo de ejercicios intermitente, es decir, en el trabajo con intervalos; por consiguiente, los mayores niveles de GH circulantes se alcanzarán en esta fase de ejercicio y durante el desempeño del tipo de entrenamiento interválico HIIT.

**«En Fase III, los niveles de estimulación de la glucogenólisis muscular y hepática alcanzarán las cotas más elevadas, con niveles casi máximos de activación de la fosforilasa»**

→Figura 16. Activación de la glucogenólisis por la adrenalina, mediante la activación de la enzima fosforilasa.



## SISTEMAS ENERGÉTICOS

En esta Fase III, los niveles de estimulación de la glucogenólisis muscular y hepática alcanzarán las cotas más elevadas, con niveles casi máximos de activación de la fosforilasa. Por su parte, el nivel de activación de la fosfofructoquinasa (PFK) permitirá alcanzar la tasa más elevada de producción de ATPs por medio de la glucólisis citosólica ó “anaeróbica”. (Figura 16)

Es importante señalar que la realización de ejercicio en Fase III condiciona la necesidad de generar energía para la contracción muscular lo más rápido posible, por lo que todos los sistemas energéticos han de contribuir a generar ATPs, independientemente de las consecuencias fisiológicas para la célula, en relación a estados de acidosis o disturbios en el equilibrio interno que finalmente llevará a la fatiga muscular.

Igualmente es importante señalar, el hecho de que si bien en esta intensidad de ejercicio la activación de las rutas glucolíticas es muy importante, es precisamente en Fase III donde será posible alcanzar la máxima potencia aeróbica ( $VO_2\text{max}$ ), es decir, la máxima producción energética por vías oxidativas o aeróbicas, por lo que sería un serio error de concepto catalogar a la Fase III de nuestro modelo como fase “anaeróbica”. La acidosis generada por la participación de las rutas anaeróbicas de obtención de energía será uno de los condicionantes para alcanzar ese  $VO_2\text{max}$  por sus efectos sobre la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno.

→Figura 17. Máxima tasa de producción de P de alta energía a partir de diferentes sustratos y cantidad disponible en un hombre de 70 kg de peso (masa muscular estimada 28 kg), y potencia energética requerida para esfuerzos de máxima intensidad de 2-5 min de duración

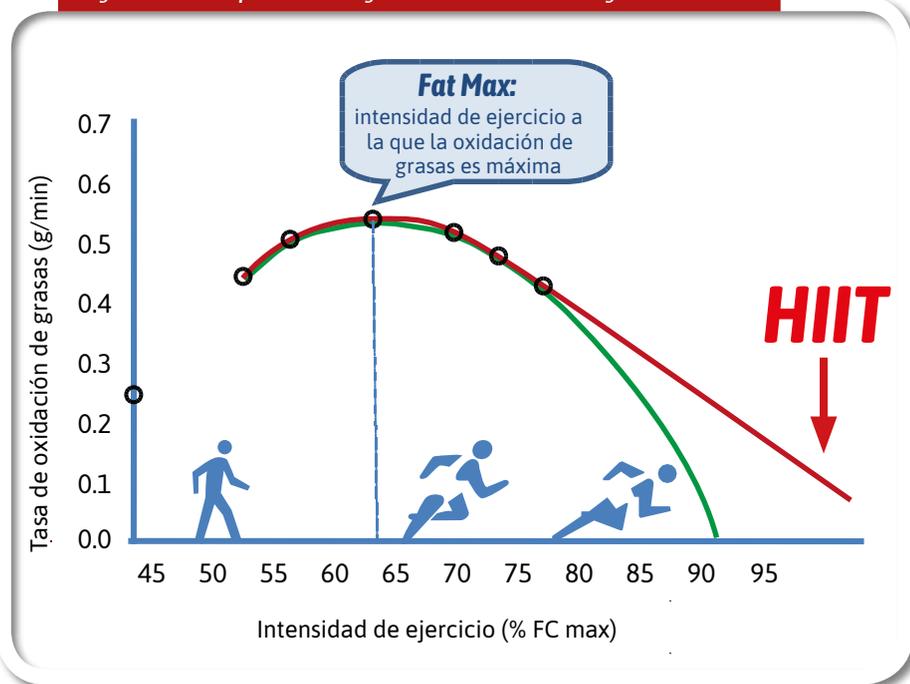
	Regeneración ATP mmol/s/kg	CANTIDAD DISPONIBLE, mol
ATP, PCR → ADP, CR	4,4	0,67
GLUCÓGENO → LACTATO	2,35	1,67 En total 6,7
GLUCÓGENO → CO <sub>2</sub>	0,85-1,14	84
GLUCÓGENO HEPÁTICO → CO <sub>2</sub>	0,37	19
ÁCIDOS GRASOS → CO <sub>2</sub>	0,40	4000
CORRER 800 M	2,0	<b>HIIT ~2-5 MIN</b>
CORRER 1500 M	1,7	

(Modificada de Greenhaff y col, 1993)

Con absoluta diferencia respecto a los otros principios inmediatos, durante esta fase de ejercicio los hidratos de carbono serán los que contribuyan en mayor medida a la obtención de energía para la contracción muscular. Todas las rutas metabólicas destinadas a conseguir ATPs mediante el metabolismo de los hidratos de carbono estarán plenamente activadas, especialmente la glucólisis anaeróbica ya que se hace necesario una producción rápida de energía para sostener la contracción muscular.

En el ejercicio desarrollado en Fase III los hidratos de carbono serán los que contribuyan en mayor medida a la obtención de energía para la contracción muscular. En la **Figura 17**, podemos observar las necesidades energéticas (energía por unidad de tiempo) de diferentes pruebas de atletismo. Las pruebas de 800 y 1500 m quizás sean las que mejor reflejan en cuanto a su duración (~2-5 min) la exigencia fisiológica de los intervalos en una sesión de HIIT. Como podemos comprobar, la potencia energética requerida (~1,7-2,0 mol/min) solo puede ser cubierta por rutas metabólicas que implican el metabolismo de los hidratos de carbono, lo que hace imprescindibles unos adecuados depósitos de glucógeno para poder desarrollar sesiones de entrenamiento HIIT. Dicho de otra manera, no se puede desarrollar un HIIT con depleción de glucógeno muscular y hepático.

→Figura 18. Participación de las grasas como sustrato energético en HIIT



→Figura 19. Respuesta de la ventilación pulmonar (VE) al ejercicio progresivo incremental hasta el agotamiento



Por otra parte, la utilización de grasas en esta fase de intensidad de ejercicio será muy baja quedando estabilizada en tasas de oxidación similares a las obtenidas en cargas de trabajo de muy baja intensidad (25-30%  $VO_{2max}$ ) (**Figura 18**). Debido a la baja tasa de recuperación de ATPs a partir de la oxidación de las grasas, una participación relevante del metabolismo de las grasas a estas intensidades de ejercicio sería un freno más que una ayuda.

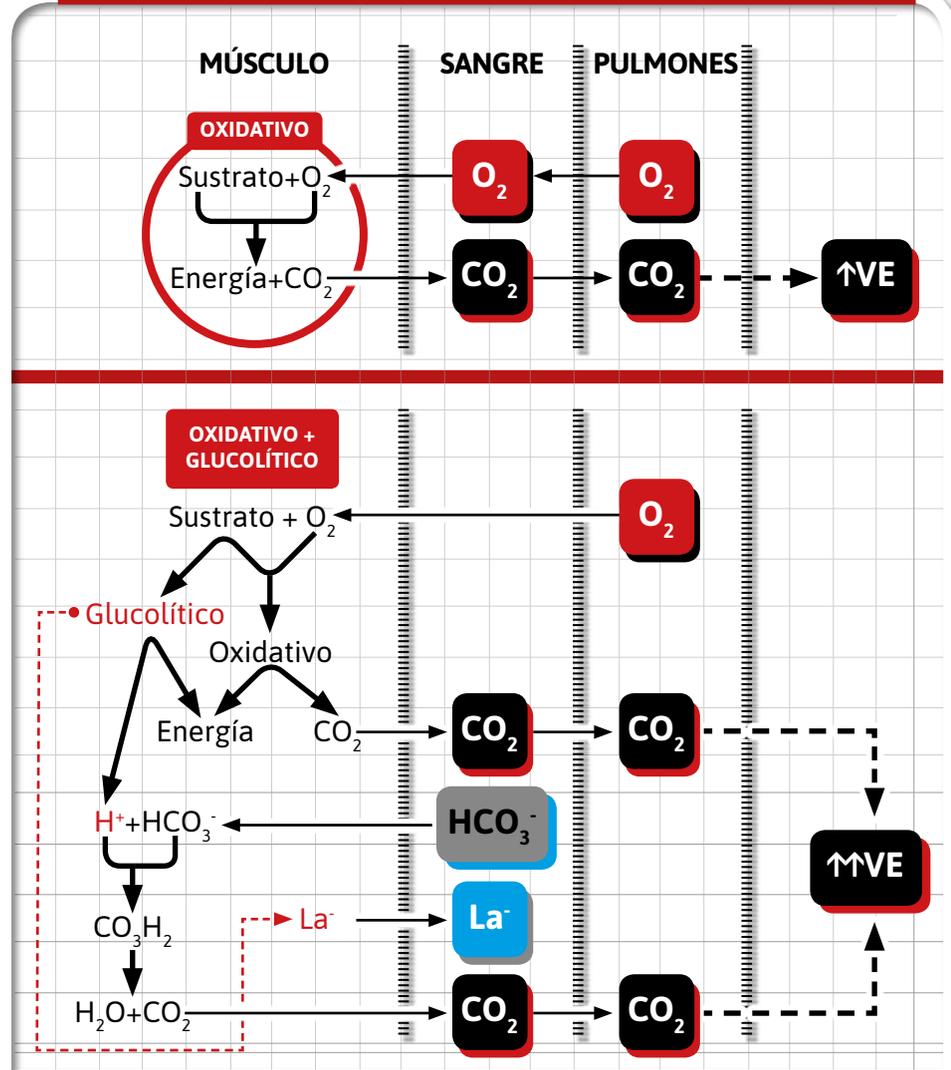
«En el ejercicio desarrollado **en Fase III los hidratos de carbono serán los que contribuyan en mayor medida a la obtención de energía para la contracción muscular**»

## SISTEMA RESPIRATORIO

Superado el máximo estado estable del lactato ó  $VT_2$ , la ventilación pulmonar aumentará progresiva y linealmente hasta alcanzar los valores máximos en el momento del agotamiento. (**Figura 19**)

Durante el transcurrir en esta Fase III y hasta alcanzar el máximo esfuerzo, la concentración sanguínea de lactato irá progresivamente aumentando hasta alcanzar el agotamiento, ya que los sistemas de producción superan a los sistemas de aclaramiento del mismo, rompiéndose el equilibrio ácido base y descendiendo por consiguiente el pH muscular y sanguíneo, al no ser capaces los sistemas amortiguadores

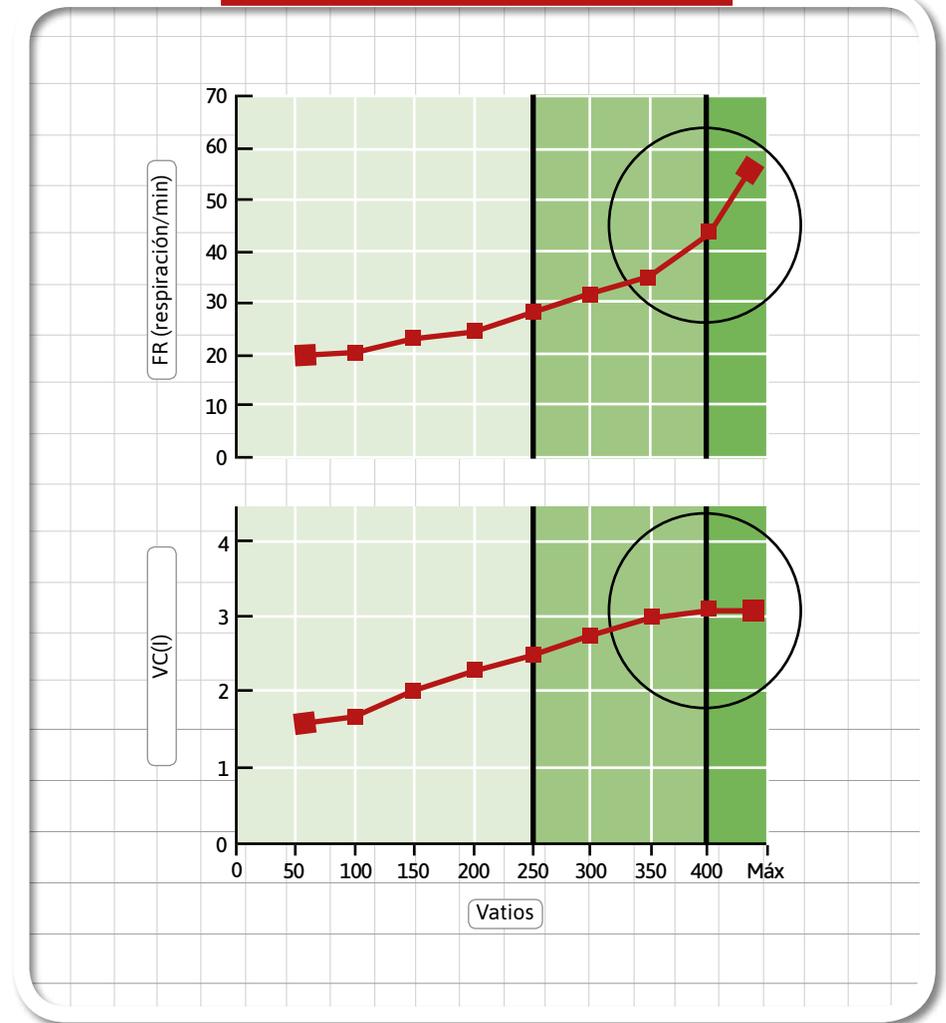
→Figura 20. Estímulos para el aumento progresivo de la ventilación pulmonar en Fase III



Estímulos para el aumento progresivo de la ventilación pulmonar en Fase III, mostrando un incremento desproporcionado respecto a la  $VCO_2$ , al recibir el centro respiratorio estímulos por la acidosis metabólica progresiva que se produce en esta Fase III. Esto provocará un descenso de la  $PaCO_2$  (compensación respiratoria de la acidosis metabólica). **VE**: Ventilación pulmonar • **La**: Lactato.

de tamponar los  $H^+$  producidos en la disociación del ácido láctico y la propia hidrólisis del ATP. Esto provocará un aumento progresivo de la ventilación pulmonar, ahora desproporcionalmente respecto a la  $VCO_2$ , al recibir el centro respiratorio estímulos por la acidosis metabólica progresiva que se produce en esta Fase III. Esto provocará un descenso de la  $PaCO_2$  (compensación respiratoria de la acidosis metabólica). En esta fase es posible observar un descenso en la  $FECO_2$ , mientras que la  $FEO_2$  continúa aumentando, lo que significa que se podrá objetivar un aumento de los valores del  $VE/VCO_2$  que hasta entonces había permanecido relativamente estable. (Figura 20)

→Figura 21. Respuestas en Fase III de la frecuencia respiratoria (FR) y del volumen corriente o tidal (VC)



Los objetivos de la función pulmonar durante esta Fase III son: **1)** tratar de oxigenar la sangre hipoxémica que retorna al extremo venoso del capilar pulmonar; y **2)** ayudar al mantenimiento del equilibrio ácido-base mediante la eliminación a la atmósfera del máximo de  $\text{CO}_2$  posible. Este esfuerzo de ventilación del pulmón conlleva un intenso trabajo muscular respiratorio que puede: **1)** provocar una competencia por el oxígeno entre los músculos locomotores y los músculos respiratorios, que indefectiblemente ocasionará un descenso del rendimiento de los músculos locomotores; **2)** causar fatiga en los músculos respiratorios, lo que repercutirá en mantener el principal objetivo del sistema pulmonar, cual es, oxigenar la sangre; y **3)** inducir la activación de metabolorreflejos inducidos por la fatiga de los músculos respiratorios, lo que incrementará el impulso vasoconstrictor simpático, comprometiendo la perfusión de los músculos locomotores, y por tanto limitando la capacidad de realización de más trabajo.

La frecuencia respiratoria aumentará progresivamente en esta Fase III pudiendo alcanzar las 35 a 45 respiraciones por minuto, si bien pueden encontrarse valores de hasta 60 ó 70 respiraciones por minuto en atletas de elite durante HIIT. Por otra parte, es normal hallar cifras de volumen corriente respiratorio de 2 ó más litros de aire. Por tanto, a las altas intensidades de ejercicio donde se desarrolla el HIIT (Fase III), aumentan tanto la frecuencia respiratoria como el volumen corriente, y la ventilación minuto puede alcanzar y superar los 150 litros por minuto (17 veces más que los valores de reposo). En atletas varones bien entrenados en deportes de resistencia, la ventilación máxima ( $V_{E\text{máx}}$ ) puede superar los 185 litros por minuto, habiendo alcanzado valores de 220 l/min en ciclistas profesionales de resistencia. (Figura 21) Este aumento de la ventilación pulmonar asociado al HIIT es el principal responsable de la elevada percepción de esfuerzo que los atletas manifiestan durante esta modalidad de entrenamiento.

La capacidad de difusión del oxígeno durante un entrenamiento HIIT llega a alcanzar en muchos deportistas una meseta estable, constituyendo en caso de producirse un limitante de la capacidad aeróbica durante esta modalidad de entrenamiento. Durante el HIIT la capacidad de difusión para el oxígeno puede alcanzar los 75 ml/min/mmHg (el triple respecto a las cifras de reposo), en personas bien entrenadas en resistencia aeróbica.

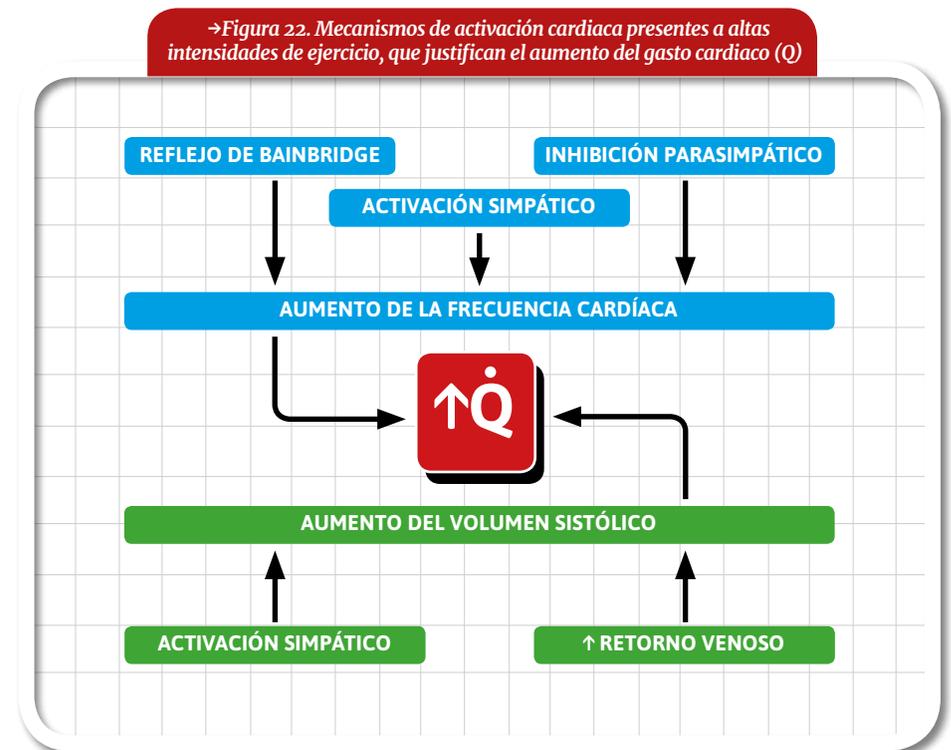
«Durante una sesión de HIIT el **gasto cardiaco**, la **frecuencia cardiaca** y el **volumen sistólico** alcanzarán sus valores máximos»

## SISTEMA CARDIOCIRCULATORIO

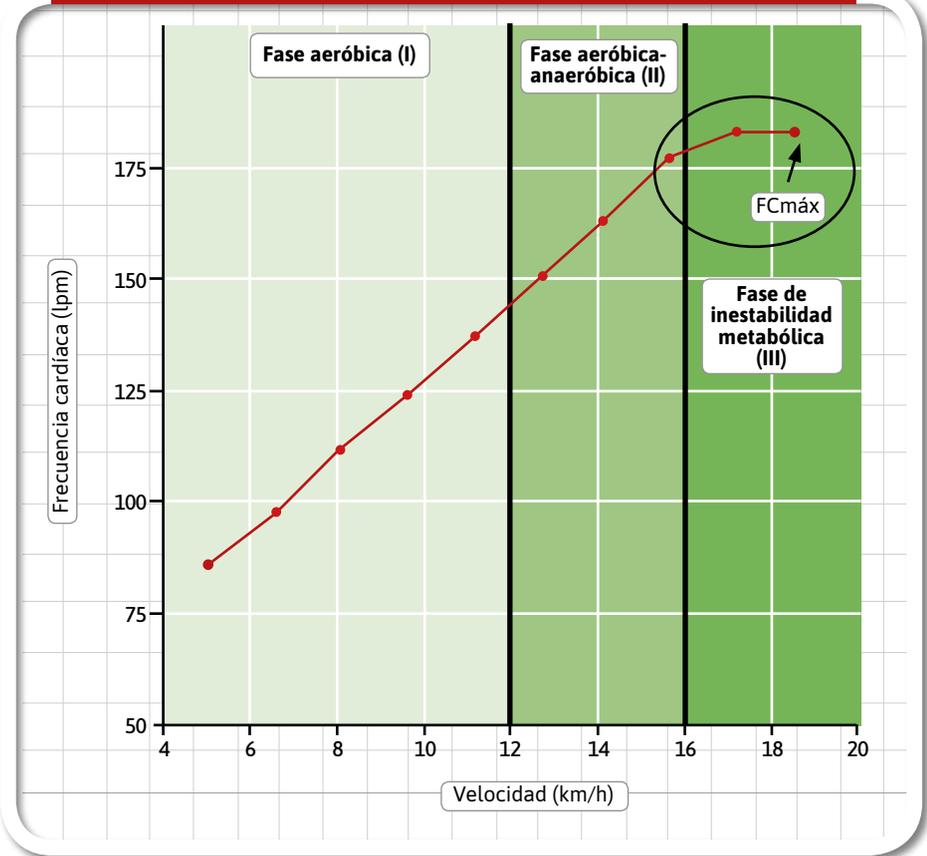
En relación a los mecanismos de activación cardiaca a intensidad HIIT, todos van a estar presentes potenciados por la tendencia a la acidosis y la inestabilidad metabólica característica de la Fase III donde se encuadra el HIIT (Figura 22).

Así, por concepto, durante una sesión de HIIT el gasto cardiaco, la frecuencia cardiaca y el volumen sistólico alcanzarán sus valores máximos (Figuras 23 a 25)

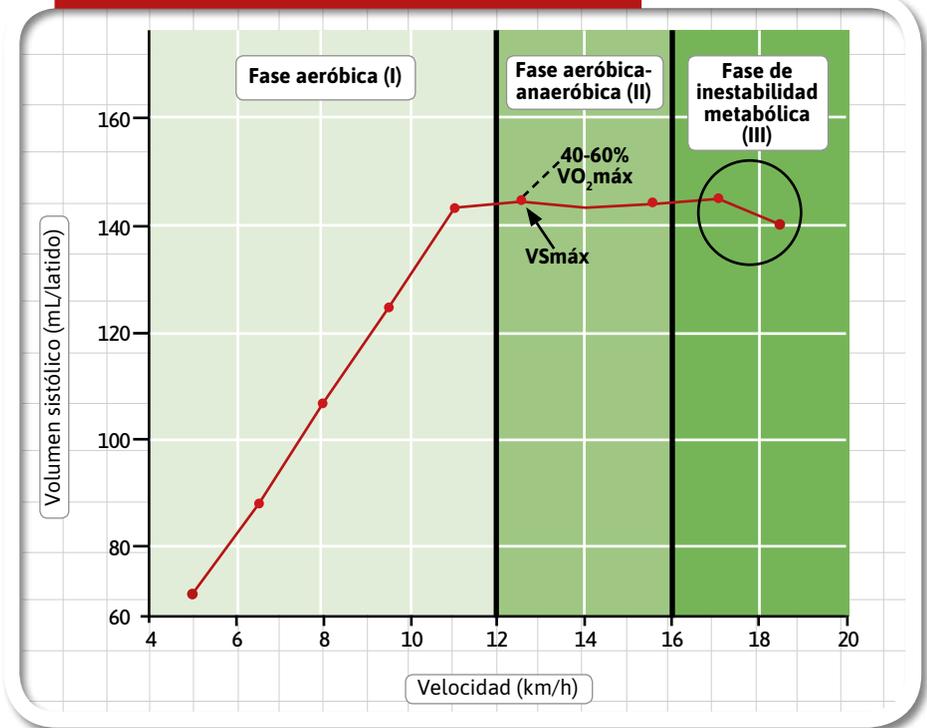
Respecto a la respuesta de la presión arterial durante el HIIT, la sistólica aumenta en relación al gasto cardiaco de manera fisiológica, pudiéndose alcanzar valores de 200 mm Hg o más, no siendo excepcionales valores de 240- 250 mm Hg en atletas de elite. Por su parte, la presión arterial diastólica durante el HIIT puede incluso disminuir, debido a la gran vasodilatación generada en ejercicios de resistencia aeróbica, especialmente si están implicados grandes grupos musculares. Como criterio general, el incremento de la presión arterial diastólica durante el ejercicio dinámico ha de considerarse siempre como una respuesta hipertensiva al ejercicio. Además, un aumento superior a los 115 mmHg, es una indicación absoluta para detener el ejercicio (ergometría, generalmente). (Figura 26)



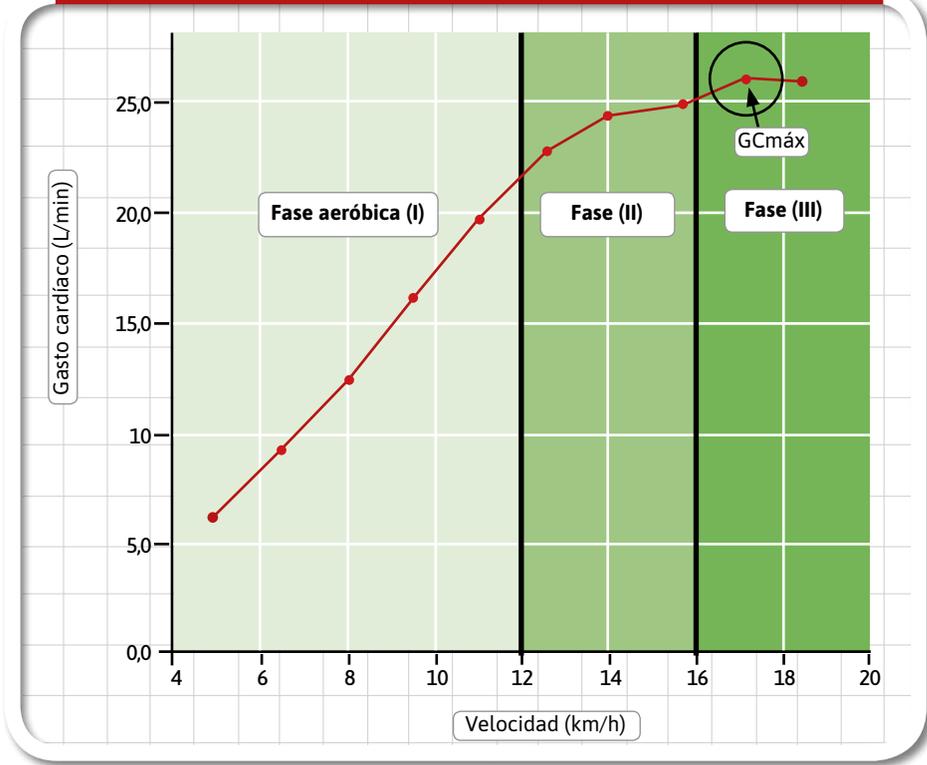
→ Figura 23. Estabilización en valores máximos de la frecuencia cardíaca (FC) en Fase III



→ Figura 24. Respuesta del volumen sistólico en Fase III, mostrando incluso un descenso cerca del agotamiento del sujeto



→ Figura 25. Respuesta en Fase III del gasto cardíaco, alcanzando un valor máximo estable



→ Figura 26. Respuesta de la presión arterial en Fase III.

