

López Chicharro, J.
Vicente Campos, D.

HIIT

ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO
DE ALTA INTENSIDAD

BASES
FISIOLÓGICAS
Y APLICACIONES
PRÁCTICAS



| HIIT DE LA TEORÍA A LA PRÁCTICA |

JOSÉ LÓPEZ CHICHARRO
DAVINIA VICENTE CAMPOS

© José López Chicharro, 2018

Depósito legal: M-10968-2018

ISBN: 978-84-09-00923-7

Impresión Merinero

Diseño cubierta: Joaco Pérez

Diseño y maquetación interiores: Lorenzo López Garrido

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.



JOSE LÓPEZ CHICHARRO

- Doctor en Medicina
- Especialista en Medicina de la E.Física y el Deporte
- Catedrático de Fisiología del Ejercicio. Universidad Complutense de Madrid



DAVINIA VICENTE CAMPOS

- Doctora en Actividad Física y Salud
- Licenciada en Ciencias de la A. Física y el Deporte
- Graduada en Fisioterapia
- Profesora de Fisiología del Ejercicio. Universidad Francisco de Vitoria. Madrid

CONTENIDOS

CAPÍTULO 0

Introducción **007**

CAPÍTULO 1

Bases fisiológicas del HIIT **019**

CAPÍTULO 2

Aspectos metodológicos del entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIIT) **039**

CAPÍTULO 3

Respuestas y adaptaciones fisiológicas al HIIT **073**

CAPÍTULO 4

Aplicaciones en clínica y promoción de la salud **101**

CAPÍTULO 5

Evidencia científica y HIIT **121**

CAPÍTULO 6

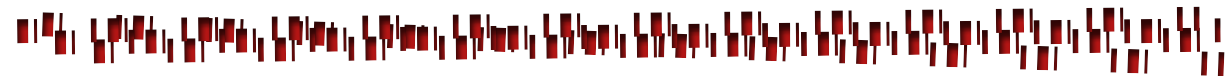
HIIT en deportista de élite de 1500 m **159**

CAPÍTULO 7

HIIT y vías de señalización molecular **175**

CAPÍTULO 8

Bibliografía **186**



Introducción



El entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIIT) es una modalidad de entrenamiento muy utilizada en el entorno del rendimiento deportivo en resistencia aeróbica desde hace décadas, habiendo tenido una gran aceptación en los últimos años en los sectores del fitness y la salud donde ha alcanzado una gran popularidad.

Esta modalidad de entrenamiento, genéricamente denominada HIIT (*High intensity interval training*), está siendo aplicada en distintos ámbitos con la característica común de su carácter interválico, pero con muy diferentes protocolos en cuanto a la intensidad, perfil de recuperación o incluso carácter del ejercicio (ej. fuerza).

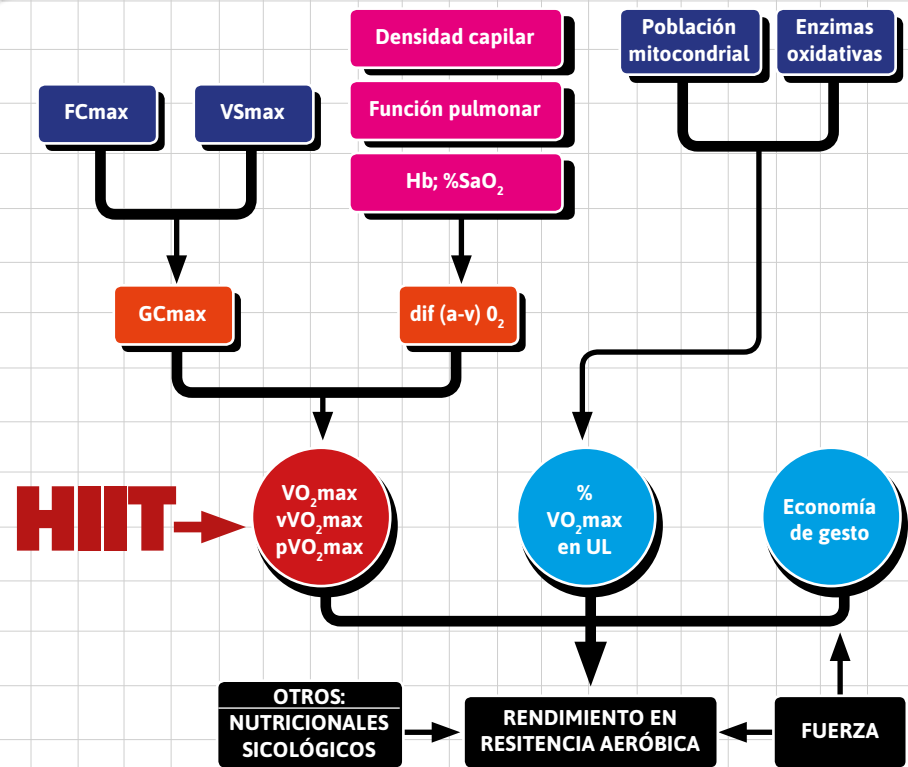
En las próximas páginas, el objetivo principal será analizar las bases fisiológicas que sustentan esta modalidad de entrenamiento para justificar una metodología de diseño y aplicación. Así pues, nos centraremos en lo que podríamos denominar “*entrenamiento genuino HIIT*”, con solo algunas referencias a diseños de entrenamientos interválicos que en realidad no llegan a cumplir las características técnicas que son atribuibles fisiológicamente a un HIIT.

«El rendimiento en resistencia aeróbica depende desde un punto de vista fisiológico de: **economía de gesto, %VO₂max sostenible durante un tiempo prolongado y potencia aeróbica máxima ó VO₂max.**»

«El VO_{2max} es la variable fisiológica excluyente del alto rendimiento en resistencia aeróbica»

El rendimiento en resistencia aeróbica depende de muchos factores, pero desde un punto de vista fisiológico se basa esencialmente en tres pilares: economía de gesto, capacidad aeróbica máxima ó $\%VO_{2max}$ sostenible durante un tiempo prolongado, y potencia aeróbica máxima ó VO_{2max} . Cada uno de estos pilares es dependiente de diferentes variables que en gran parte los condiciona (Figura 1).

→Figura 1. Factores fisiológicos fundamentales de los que depende el rendimiento en resistencia aeróbica



FCmax: frecuencia cardíaca máxima • **VSmax:** Volumen sistólico máximo • **Hb:** Hemoglobina • **%SaO₂:** porcentaje de saturación arterial de oxígeno • **GCmax:** Gasto cardíaco máximo • **Dif (A-V)O₂:** diferencia arterio-venosa de oxígeno • **VO₂max:** consumo máximo de oxígeno • **vVO₂max:** velocidad aeróbica máxima, VAM • **pVO₂max:** potencia aeróbica máxima, PAM • **UL:** umbral láctico • **HIIT:** entrenamiento interválico de alta intensidad

El VO_{2max} es la variable fisiológica excluyente del alto rendimiento en resistencia aeróbica estando además muy condicionada por la genética, habiendo estimado que la herencia determina hasta el ~70% del valor de VO_{2max} . A pesar de esta trascendental carga genética, su importancia en el rendimiento hace que su aumento sea uno de los principales objetivos de los entrenadores de atletas de resistencia aeróbica. Ese ~30% de mejora debido a un adecuado entrenamiento es dependiente de las adaptaciones alcanzadas referidas a factores centrales (gasto cardíaco) y factores periféricos (**dif A-V (O₂)**) constituyendo por ello la variable más integradora de la fisiología del ejercicio aeróbico.

El principal objetivo del entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIIT) es la mejora del VO_{2max} y/o velocidad o potencia asociada al VO_{2max} (v/p VO_{2max} , VAM, PAM). Ello no significa que al entrenar HIIT no mejore la eficiencia mecánica o el umbral láctico, que lo harán especialmente cuando el HIIT se aplica a personas con bajo nivel de entrenamiento, sino que cuando un entrenador decide introducir HIIT en su plan de trabajo lo hace para mejorar especialmente el VO_{2max} y/o v/p VO_{2max} .

«El principal objetivo del entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIIT) es la mejora del VO_{2max} y/o velocidad o potencia asociada al VO_{2max} (v/p VO_{2max} , VAM, PAM)»

El HIIT se ha aplicado, se aplica y se aplicará en muchas modalidades de entrenamiento, especialmente en aquellas en las que la resistencia aeróbica es decisiva en el rendimiento. Hay que resaltar que, en realidad, solo los deportistas de resistencia aeróbica con elevado nivel de adaptación fisiológica y alta motivación son capaces de realizar auténticas sesiones de HIIT, el resto realiza HIIT más o menos edulcorado para cubrir las necesidades planteadas, algo que por otra parte no resta eficacia a la sesión de entrenamiento, solo la ajusta a las necesidades y características de los destinatarios.

Algunas poblaciones especiales, como los niños, ya realizan espontáneamente en sus juegos entrenamientos interválicos de alta intensidad mostrando claramente su perfil fisiológico claramente de

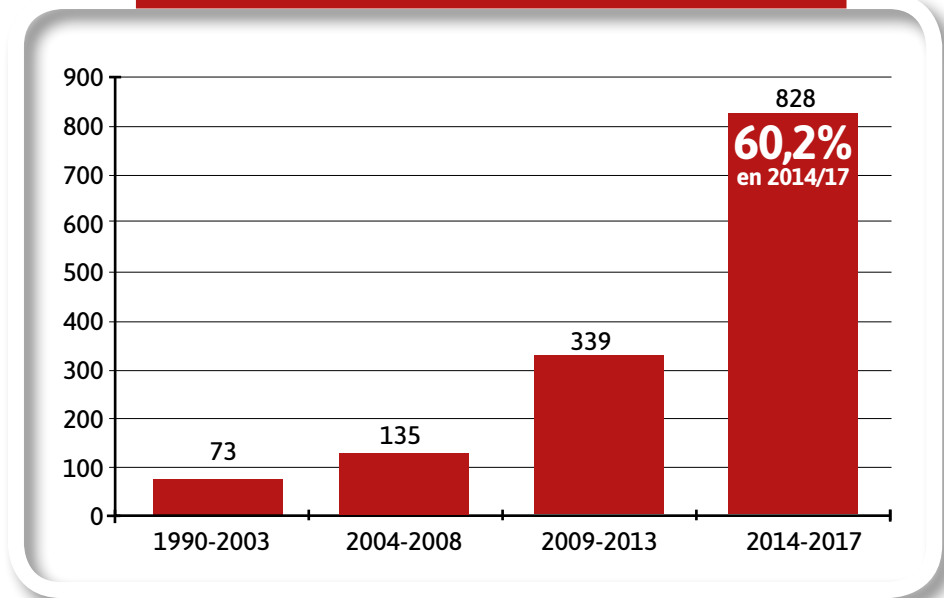
predominio oxidativo o aeróbico; esos juegos seguro que no alcanzan las características exigibles a una verdadera sesión de HIIT, pero sin duda son eficaces igualmente. En este contexto, nos gusta decir: “dejemos a los niños tiempo, espacio y la compañía de otros niños para jugar, y construirán espontáneamente un entrenamiento interválico de alta intensidad”.

En los últimos años, los usuarios de fitness, encuadrando fitness en el eje “ejercicio-salud-estética”, han recibido con entusiasmo esta modalidad de entrenamiento. En realidad, los entrenamientos interválicos se llevan aplicando muchos años en actividades colectivas muy populares en este sector, pero en los últimos tiempos se han generado nuevos programas de alguna forma vinculados al concepto HIIT. Evidentemente estos programas distan mucho de alcanzar las características fisiológicas necesarias para denominarse HIIT, pero es así como se presentan y se comercializan. Además, el HIIT ha despertado un gran interés como programa eficaz para perder grasa corporal, algo de lo que hablaremos en profundidad más adelante.

«Solo los deportistas de resistencia aeróbica con elevado nivel de adaptación fisiológica y alta motivación son capaces de realizar auténticas sesiones de HIIT»

Pero si hay un sector donde la aplicación de entrenamientos interválicos de alta intensidad ha crecido en los últimos años, ese ha sido el ámbito de la clínica. Aquí si ha habido un cambio cualitativo muy notable en el diseño de los programas de ejercicio vinculados a la rehabilitación cardiaca o pulmonar, así como en otras muchas enfermedades en las que el ejercicio tiene un papel relevante como coadyuvante del tratamiento médico farmacológico y/o quirúrgico. Por supuesto, que en términos fisiológicos estrictos no se puede aplicar HIIT en pacientes al no poder alcanzar el estrés fisiológico asociado a esa modalidad de entrenamiento, pero en cualquier caso se aplican modelos de entrenamiento interválicos de alta intensidad relativa a cada paciente, que han mostrado altos niveles de eficacia y seguridad. Más adelante, en un capítulo específico, abordaremos ampliamente la evidencia clínica de aplicación de HIIT en distintas patologías.

→Figura 2. Número de publicaciones recogidas en PubMed en las que aparece “high intensity interval training” por lustros desde el año 1999.



→Figura 3. Emil Zatopek

«Si hay un sector donde la aplicación de entrenamientos interválicos de alta intensidad ha crecido en los últimos años, ese ha sido el ámbito de la clínica»

El interés social hacia el HIIT en el ámbito del fitness y también en la clínica estuvo precedido por un aumento muy notable de publicaciones sobre esta modalidad de entrenamiento en revistas científicas. Así, tal y como puede constatarse en la base de datos PubMed, es desde 2014 cuando el número de artículos sobre entrenamiento interválico de alta intensidad muestra un considerable aumento que se mantiene hoy en día (Figura 2). El interés de los investigadores por profundizar en las aplicaciones del HIIT en los cambios en la composición corporal, factores de riesgo cardiometabólico o mejora del pronóstico de pacientes cardiacos o pulmonares, justifica este aumento de publicaciones que retroalimenta la aplicación práctica del HIIT en sectores ajenos al deporte de elite.

La aplicación del HIIT como sistema de entrenamiento estructurado en el deporte de elite comenzó a principios del siglo XX. Probablemente los primeros entrenadores que aplicaron ordenadamente HIIT fueron los finlandeses, y deportistas como Hannes Kolehmainen ó Pavo Nurmi, campeones olímpicos en resistencia aeróbica en distintos Juegos Olímpicos (JJO), manifestaron en su día la utilización de este sistema de entrenamiento en su preparación. Pero quizás, el atleta más conocido que popularizó el interval training fue Emil Zatopek, triple campeón olímpico en 1952 en las disciplinas de 5 k, 10 K y Maratón (único atleta en la historia en ganar las 3 pruebas en los mismos JJO), que según parece (quizás esto sea parte de la leyenda del corredor) utilizaba intervalos tipo 100x400 m, intercalados por 200 m de recuperación activa (Figura 3). En ese tiempo, la capacidad de valoración de los atletas desde un punto fisiológico era limitada, y los entrenadores utilizaban para fijar la intensidad de los intervalos las velocidades medias asociadas a las pruebas de 800 y 1500 m, no manejando apenas variables fisiológicas. Precisamente esas distancias también se proponen hoy en día en el marco de la opción indirecta de estimación de la velocidad aeróbica máxima (VAM) como veremos más adelante.

En el ámbito más científico, las primeras revisiones de referencia sobre este método de entrenamiento se publicaron en 1960 por dos de los grupos de investigación más importantes que la fisiología del ejercicio tuvo en el siglo XX, liderados por Per-Olof Astrand y Bengt Saltin (Figura 4).

«La aplicación del HIIT como sistema de entrenamiento estructurado en el deporte de elite comenzó a principios del siglo XX»



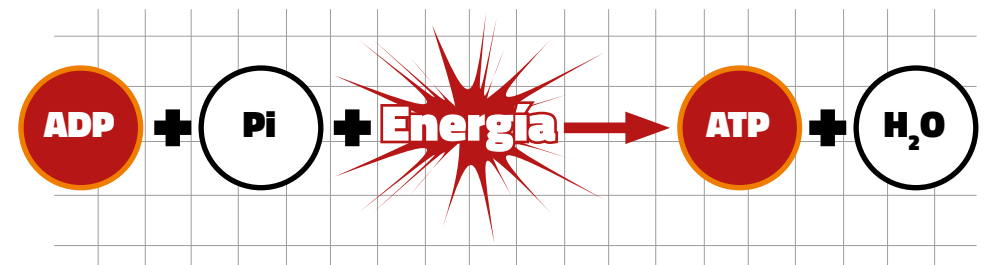
→Figura 4. Per-Olof Astrand y Bengt Saltin

LA INTENSIDAD COMO EJE FUNDAMENTAL EN LA PARTICIPACIÓN DE LAS VÍAS ENERGÉTICAS EN EL EJERCICIO

Dado que la capacidad de almacenar moléculas de adenosín-trifosfato (ATP) en las células es muy reducida, estas tienen la necesidad de reponer de manera constante los ATPs utilizados en las diferentes funciones celulares, especialmente en la contracción muscular.

No hay un único sistema metabólico que aporte ATPs en relación al ejercicio, sino que dependiendo de distintos factores unos u otros tendrán más protagonismo en cada momento y condición.

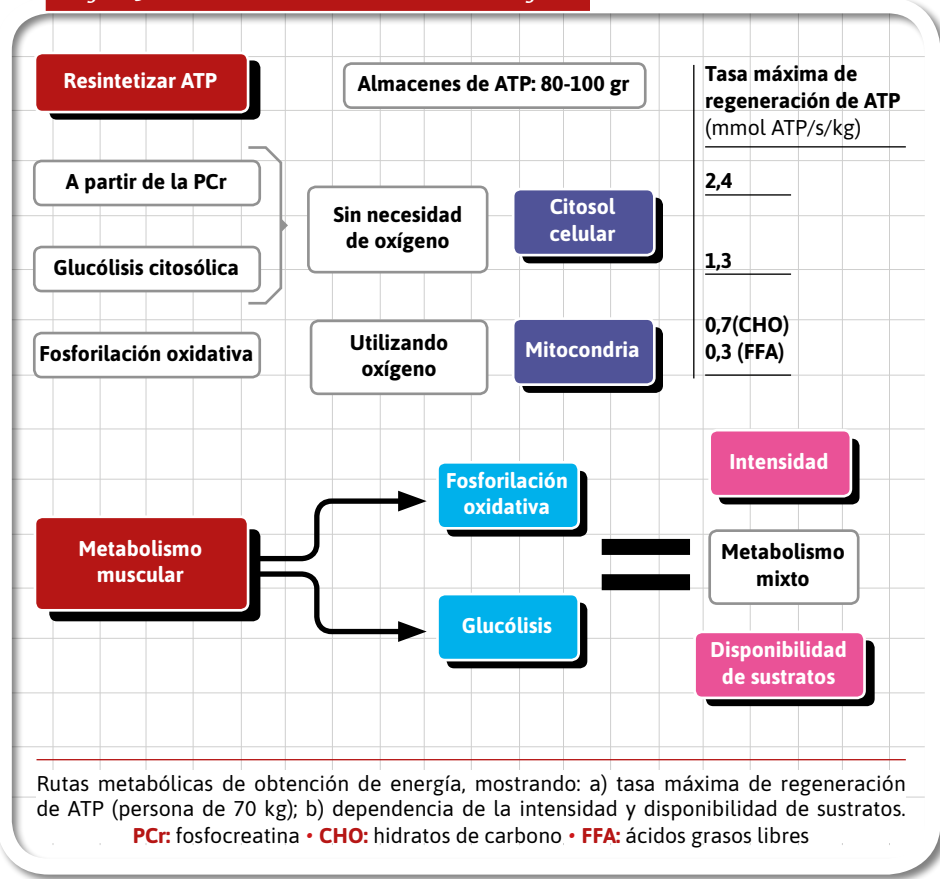
La mayoría de los ATP de la célula se producen por rupturas de sustratos potencialmente energéticos (grasas, hidratos de carbono, proteínas). Esas moléculas energéticas se oxidan a compuestos simples como CO_2 y H_2O , y la energía liberada en esos procesos químicos permite la fosforilación del ADP para generar ATP.



Estos procesos químicos pueden llevarse a cabo sin la participación del oxígeno molecular procedente del aire atmosférico, y por tanto todas las reacciones químicas que en ellos acontecen tendrán lugar en el citosol celular. Clásicamente a estas rutas metabólicas se les ha denominado “anaeróbicas”. Por otra parte, la mayor parte de la reposición de ATP en la célula muscular tiene lugar mediante un proceso complejo denominado fosforilación oxidativa (u oxidación celular) a partir de la combustión biológica de los macronutrientes de la dieta (hidratos de carbono, grasas

«La mayor parte de la reposición de ATP en la célula muscular tiene lugar mediante un **proceso complejo denominado fosforilación oxidativa** (u oxidación celular) **a partir de la combustión biológica de los macronutrientes de la dieta** (hidratos de carbono, grasas y proteínas)»

→Figura 5. Rutas metabólicas de obtención de energía

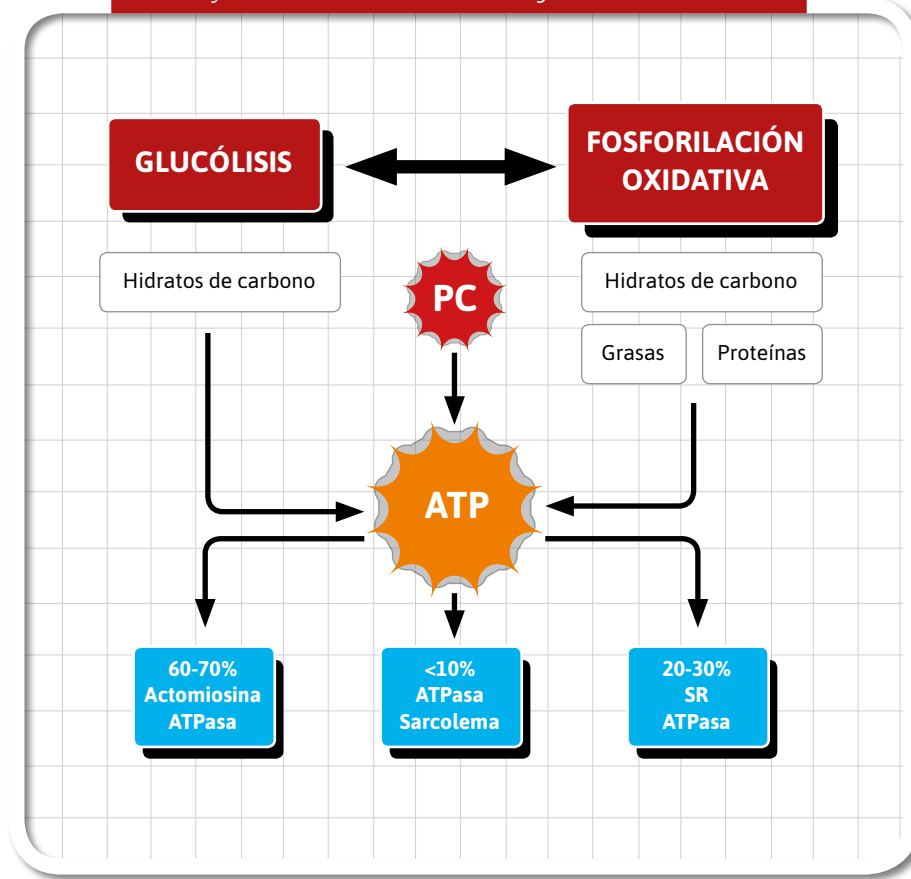


y proteínas). En este proceso es imprescindible la presencia de oxígeno y se le denomina habitualmente “aeróbico”. Tiene lugar en el interior de las mitocondrias, mediante un acoplamiento entre las reacciones de oxidación (en la que se donan electrones) y las de reducción (en la que se aceptan electrones), ya que cada oxidación coincide con una reducción.

La mayor parte de la reposición de ATP en la célula muscular tiene lugar mediante un proceso complejo denominado fosforilación oxidativa (u oxidación celular) a partir de la combustión biológica de los macronutrientes de la dieta (hidratos de carbono, grasas y proteínas)

«En el metabolismo de la célula muscular la mayor o menor participación de las vías oxidativas (aeróbicas) o glucolíticas citosólicas, va a depender de la disponibilidad de sustratos y de la intensidad del ejercicio»

→Figura 6. Sistemas básicos de obtención de energía en la célula muscular y necesidades cubiertas con la energía de los ATPs hidrolizados

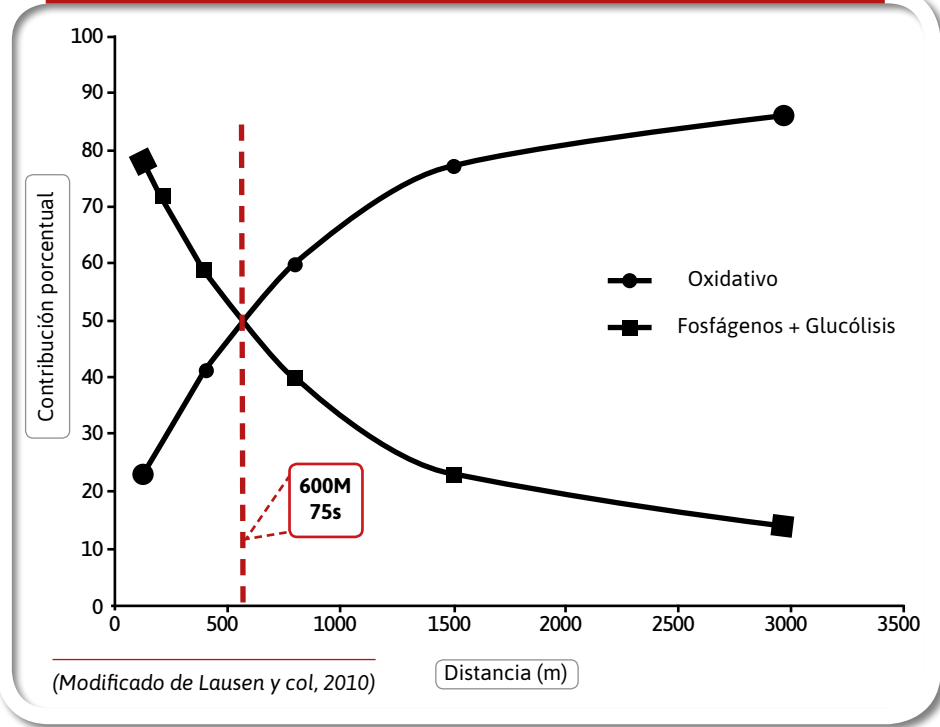


Además de los procesos anteriores, la fosfocreatina (PC) que se almacena en el citosol de las células musculares, también sirve para resintetizar ATP en una reacción muy rápida catalizada por la enzima creatín-quinasa (CK).

En el metabolismo de la célula muscular la mayor o menor participación de las vías oxidativas (aeróbicas) o glucolíticas citosólicas, va a depender en primer lugar de la disponibilidad de sustratos. Así, si los depósitos de glucógeno celulares (musculares y hepáticos) están muy bajos, el protagonismo del metabolismo de los ácidos grasos será mayor, y por extensión del metabolismo oxidativo.

«En el contexto del entrenamiento interválico de alta intensidad se han propuesto diferentes protocolos: RST: repeated-sprint training; SIT: sprint interval training; HIIT ó HIIT: high intensity Interval training»

→Figura 7. Contribución oxidativa y glucolítica en diferentes niveles de esfuerzo y duración

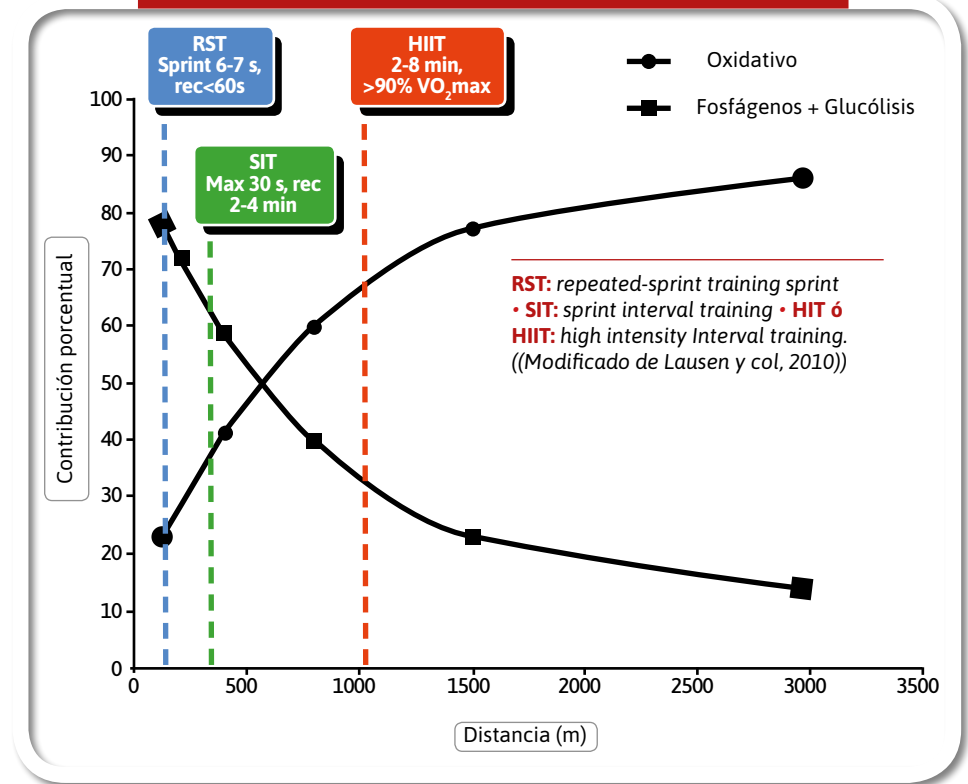


El segundo y más importante factor que determina el carácter de ese metabolismo mixto muscular es la intensidad del ejercicio. Dado que cada sistema posee una potencia energética (energía/unidad de tiempo) determinada, la necesidad de generar energía más o menos rápidamente se vinculará a la mayor o menor participación de un sistema energético u otro. (figura 5)

En el metabolismo de la célula muscular la mayor o menor participación de las vías oxidativas (aeróbicas) o glucolíticas citosólicas, va a depender de la disponibilidad de sustratos y de la intensidad del ejercicio

La mayoría (60-70%) de la energía procedente de la hidrólisis del ATP durante el ejercicio muscular se destina a la actividad ATPasa de la miosina. Hay otras dos importantes demandas energéticas en el funcionamiento de la célula muscular durante el ejercicio: la primera hace referencia al control de los movimientos de calcio a través de la membrana del retículo sarcoplásmico (20-30% de los ATPs utilizados), y la segunda se vincula a la acción de la bomba sodio-potasio para restaurar el potencial de membrana durante la relajación muscular (10% de los ATPs utilizados). (Figura 6)

→Figura 8. Protocolos de entrenamiento interválico de alta intensidad y su implicación en los sistemas energéticos oxidativo y glucolítico-fosfágenos



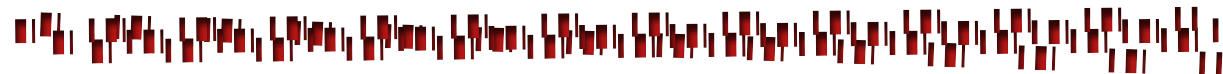
Diferentes investigaciones han tratado de valorar la contribución de las diferentes rutas metabólicas de obtención de energía en distintos tipos de ejercicio. En el campo que nos interesa ahora, Lausen y col (2010) propusieron un modelo en el que para ejercicios de máxima intensidad de 75 s de duración (~600 m corriendo) la contribución energética oxidativa y de fosfágenos + glucólisis citosólica estarían equilibradas al 50%. (Figura 7).

Tomando como referencia ese modelo, en el contexto del entrenamiento interválico de alta intensidad se han propuesto diferentes protocolos (Figura 8) y cada uno de ellos incide especialmente (aunque no específicamente) en la utilización de un sistema energético, lo que conlleva unas adaptaciones fisiológicas asociadas a las respuestas provocadas:

➤ **RST:** repeated-sprint training. Esprint de 3-7 s, con recuperación de 60 s. Esta modalidad de entrenamiento interválico conlleva una elevada implicación del metabolismo de los fosfágenos y de la glucólisis citosólica (“anaeróbica”).

↘ **SIT:** *sprint interval training*. Esfuerzos de 30 s de máxima intensidad (all-out), intercalados con 2-4 min de recuperación pasiva. Este sistema mantiene una elevada implicación de la glucólisis citosólica.

↘ **HIIT ó HIT:** *entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad*. Esfuerzos de 3 a 5 min a >90% VO₂max. Esta modalidad de entrenamiento implica en mayor medida al metabolismo oxidativo, y constituye conceptualmente el verdadero entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIIT ó HIT).



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.

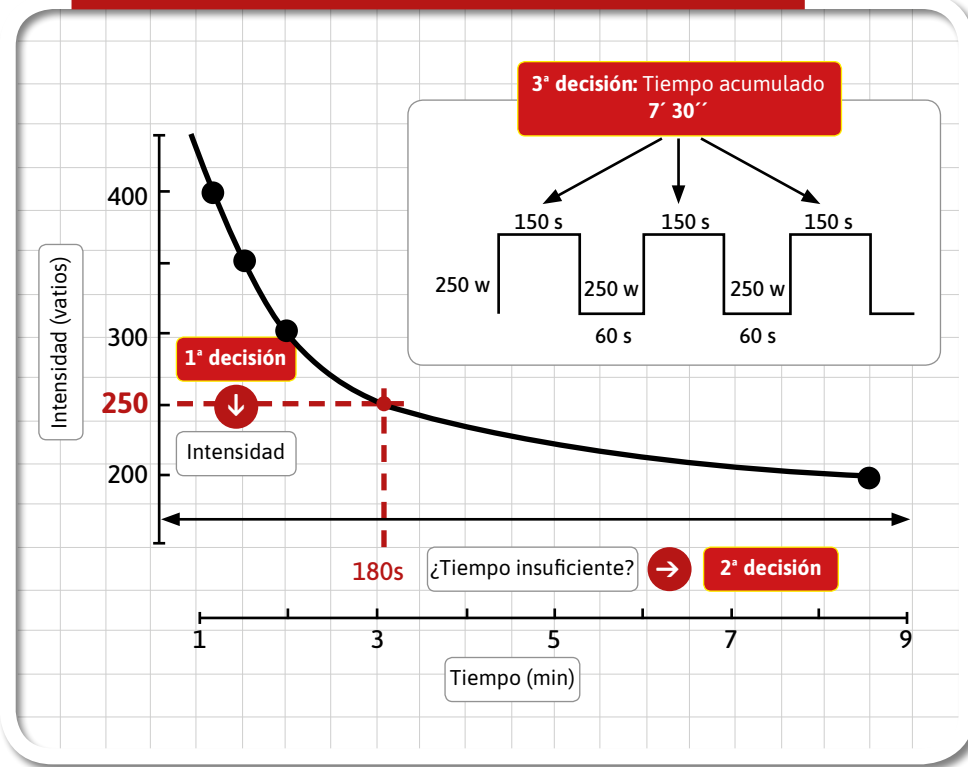
«El tiempo total en HIIT (suma de todos los intervalos de ejercicio) **debería ser mayor** que el tiempo que el atleta puede alcanzar en una sesión de ejercicio continuo a la misma intensidad hasta el agotamiento»

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

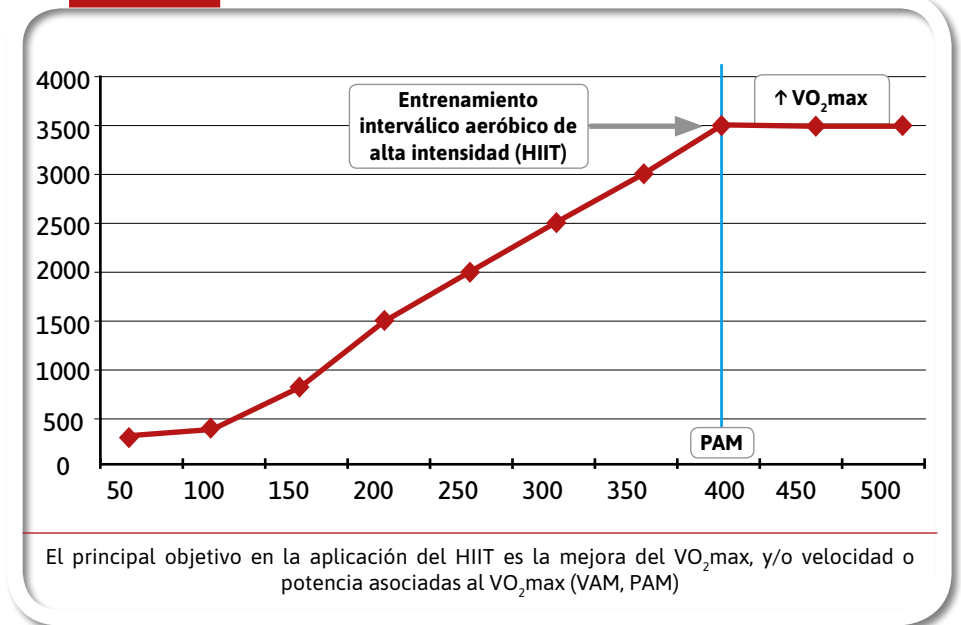
→Figura 9. Relación hiperbólica entre intensidad de ejercicio y tiempo hasta el agotamiento. Decisiones de base para estructurar una sesión de HIIT



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

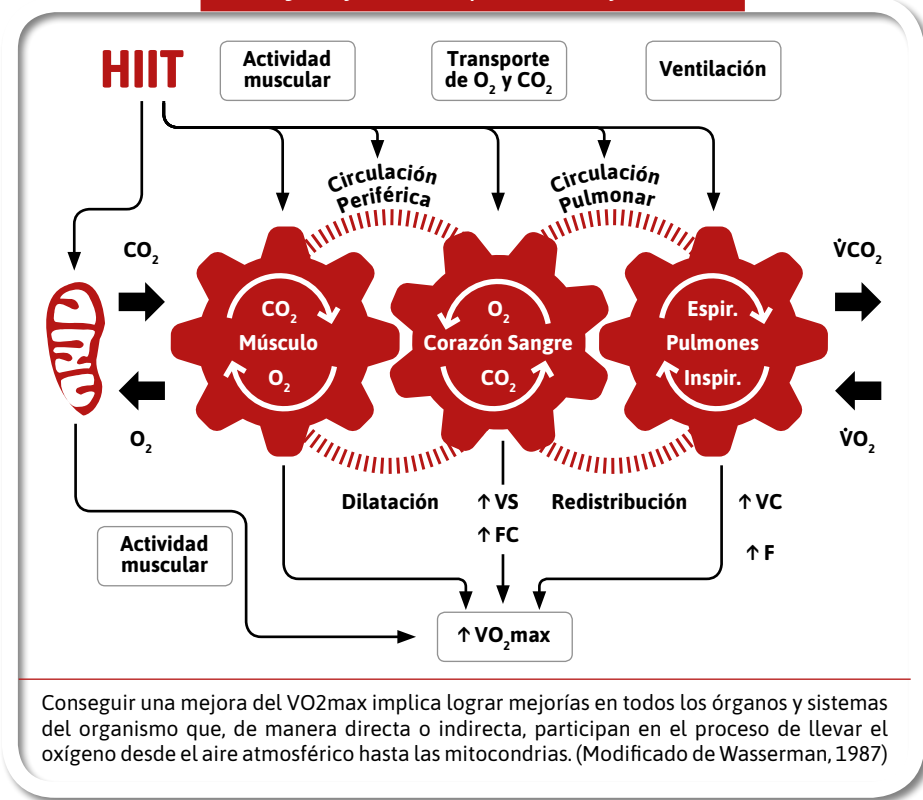


El principal objetivo en la aplicación del HIIT es la mejora del VO_{2max} , y/o velocidad o potencia asociadas al VO_{2max} (VAM, PAM)

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)

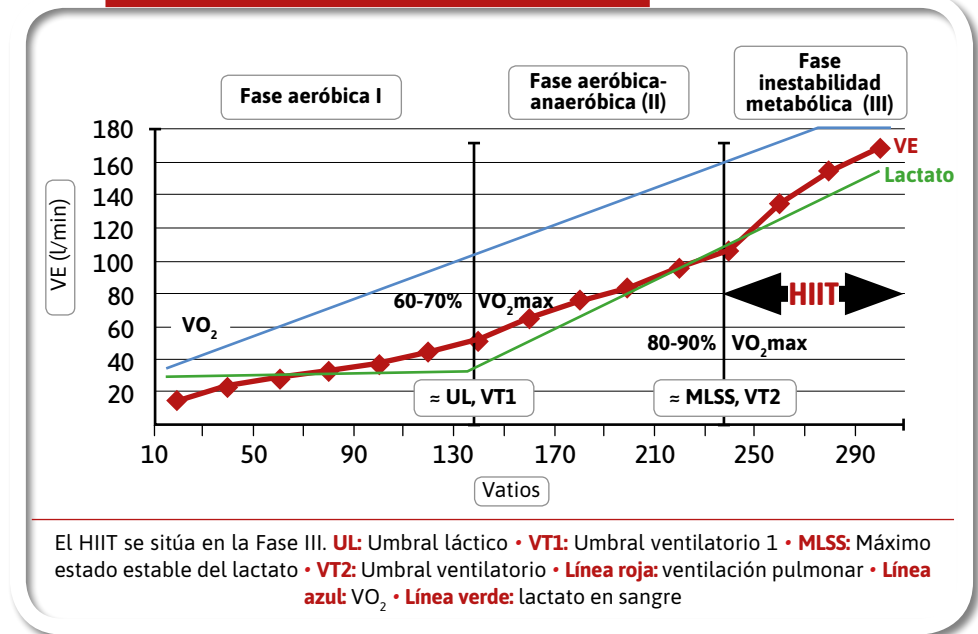
Evidentemente, la aplicación del HIIT hará mejorar muchas cualidades fisiológicas del entorno oxidativo, cardiovascular, metabólico, muscular, glucolítico, etc., especialmente cuando se parte de niveles bajos de adaptación fisiológica, pero el principal objetivo, al menos desde la vertiente del rendimiento, 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



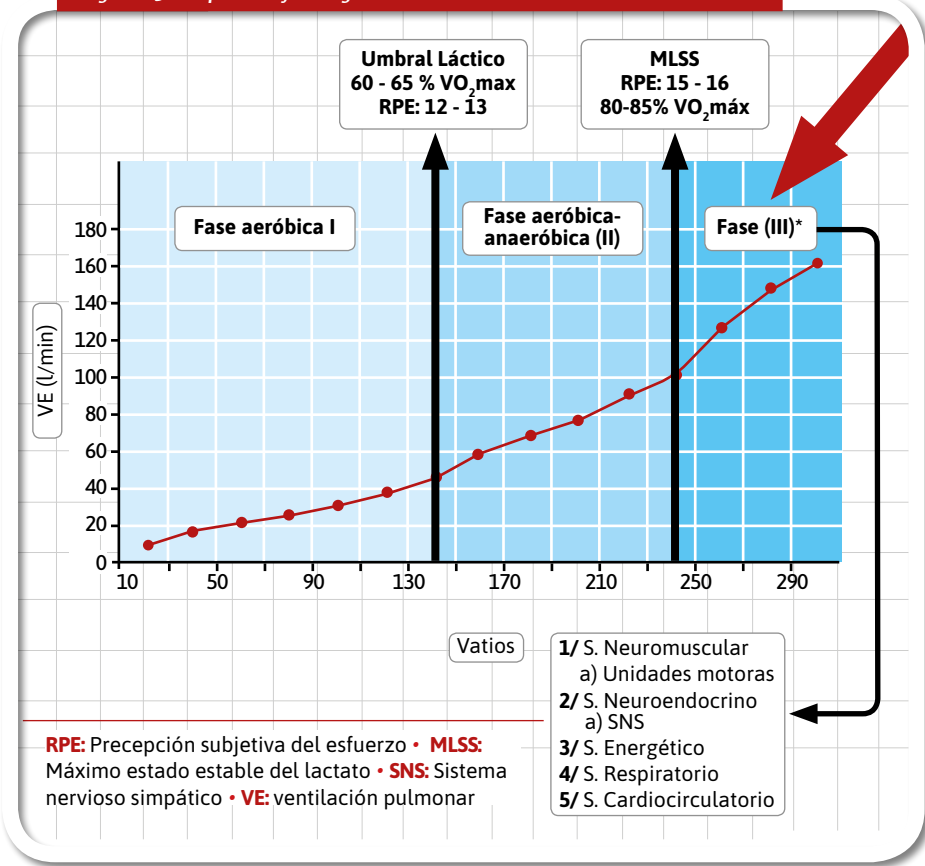
en resistencia aeróbica, sino también para el fitness cardiorrespiratorio del sujeto o de la salud en general. En este sentido, igual que el $VO_2\text{max}$ es considerado como un excluyente del rendimiento aeróbico cuando los valores alcanzados no llegan a un cierto nivel, desde un punto de vista de 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 VO₂max, 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.

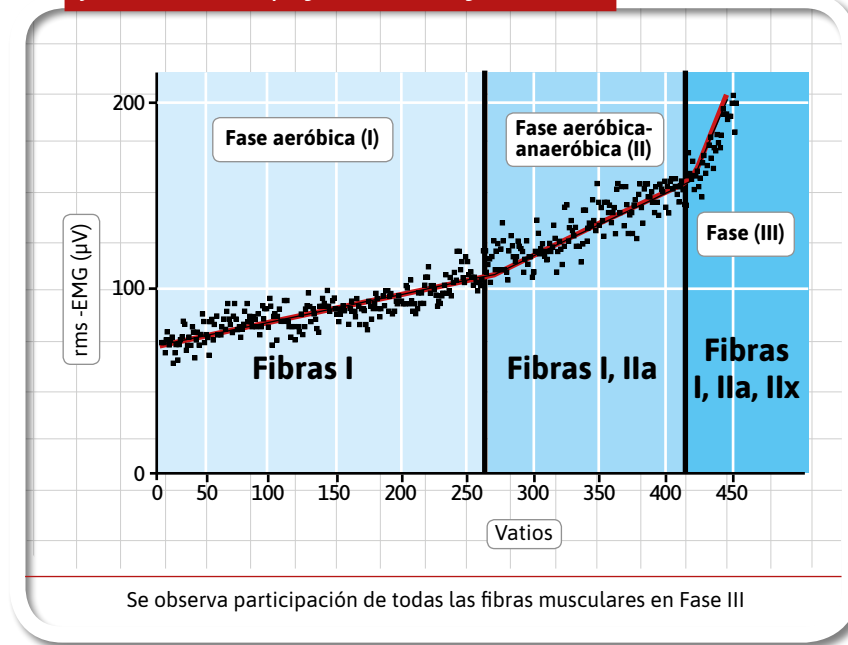
Ya que el entrenamiento de HIIT se va a desarrollar en Fase III, debemos conocer las respuestas fisiológicas más relevantes que acontecen en Fase III. Solo así podremos justificar la oportunidad de decidir la aplicación de esta modalidad de entrenamiento. (Figura 13)

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 (VO₂max).

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»

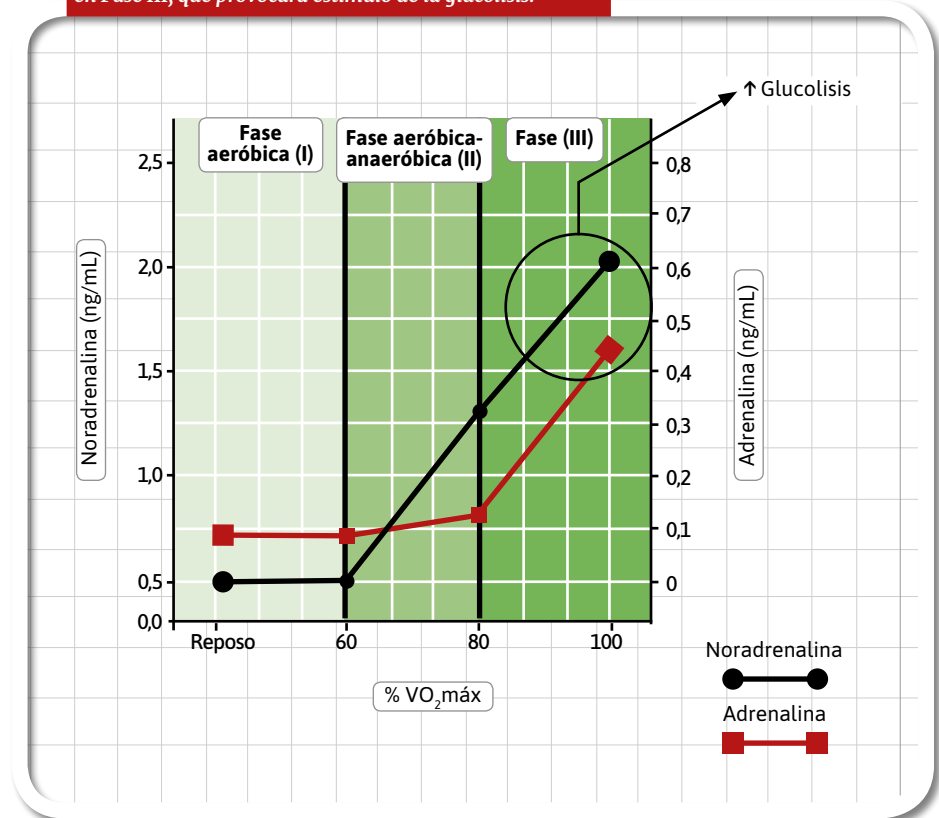
SISTEMA NEUROENDOCRINO

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.

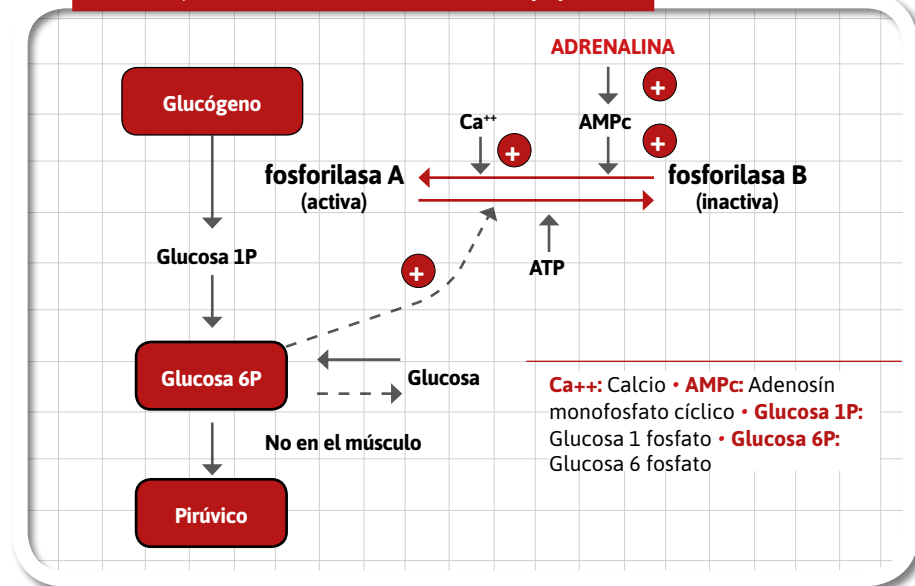
→Figura 15. Aumento de las catecolaminas circulantes en Fase III, que provocará estímulo de la glucólisis.



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

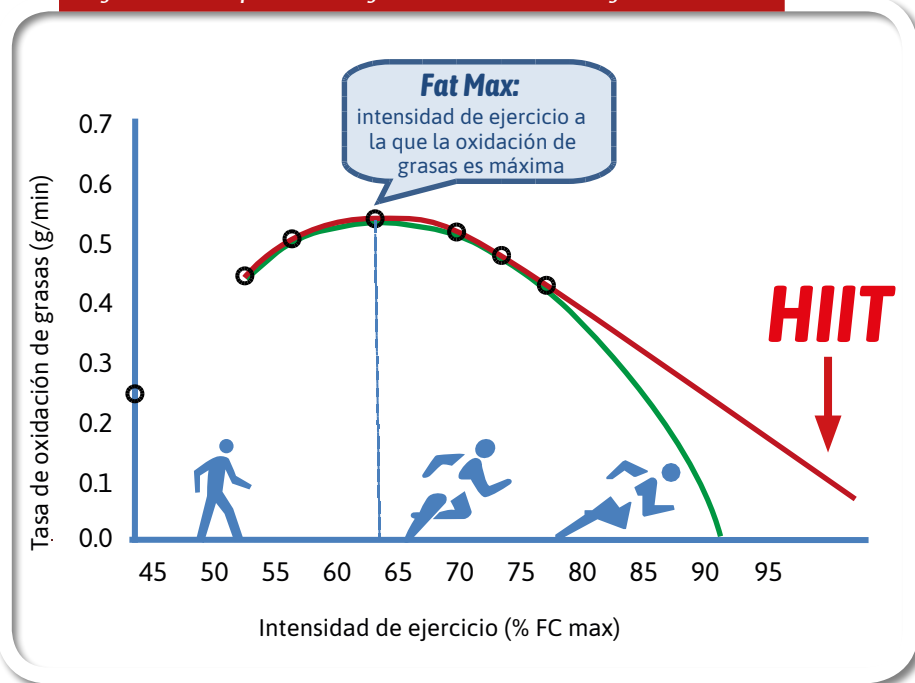
	Regeneración ATP mmol/s/kg	CANTIDAD DISPONIBLE, mol
ATP, PCR → ADP, CR	4,4	0,67
GLUCÓGENO → LACTATO	2,35	1,67 En total 6,7
GLUCÓGENO → CO ₂	0,85-1,14	84
GLUCÓGENO HEPÁTICO → CO ₂	0,37	19
ÁCIDOS GRASOS → CO ₂	0,40	4000
CORRER 800 M	2,0	HIIT ~2-5 MIN
CORRER 1500 M	1,7	

(Modificada de Greenhaff y col, 1993)

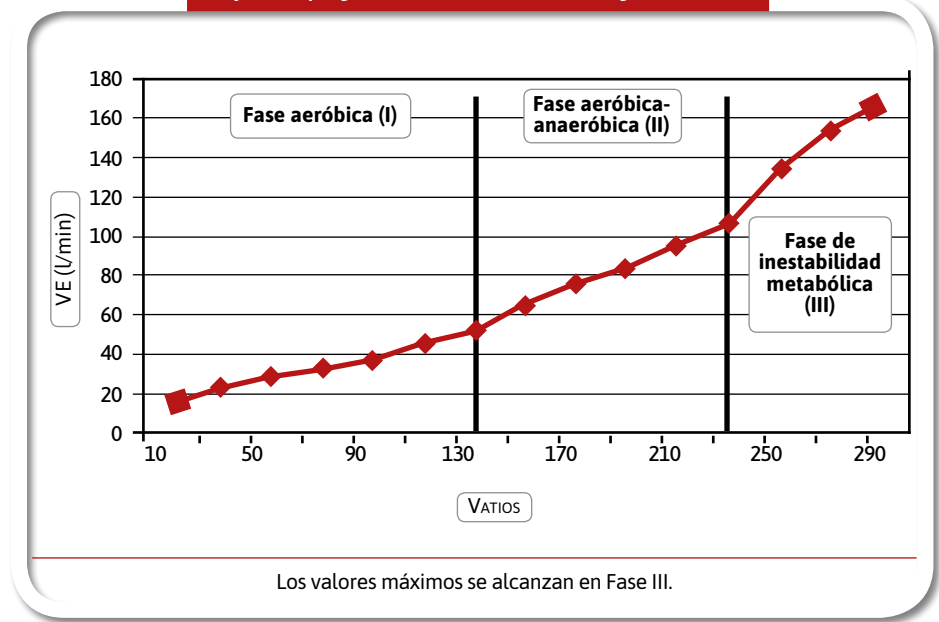
Con absoluta diferencia respecto a los otros principios inmediatos, durante esta fase de ejercicio los hidratos de carbono serán los que contribuyan en mayor medida a la obtención de energía para la contracción muscular. Todas las rutas metabólicas destinadas a conseguir ATPs mediante el metabolismo 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



Los valores máximos se alcanzan en Fase III.

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% VO₂max) (**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.

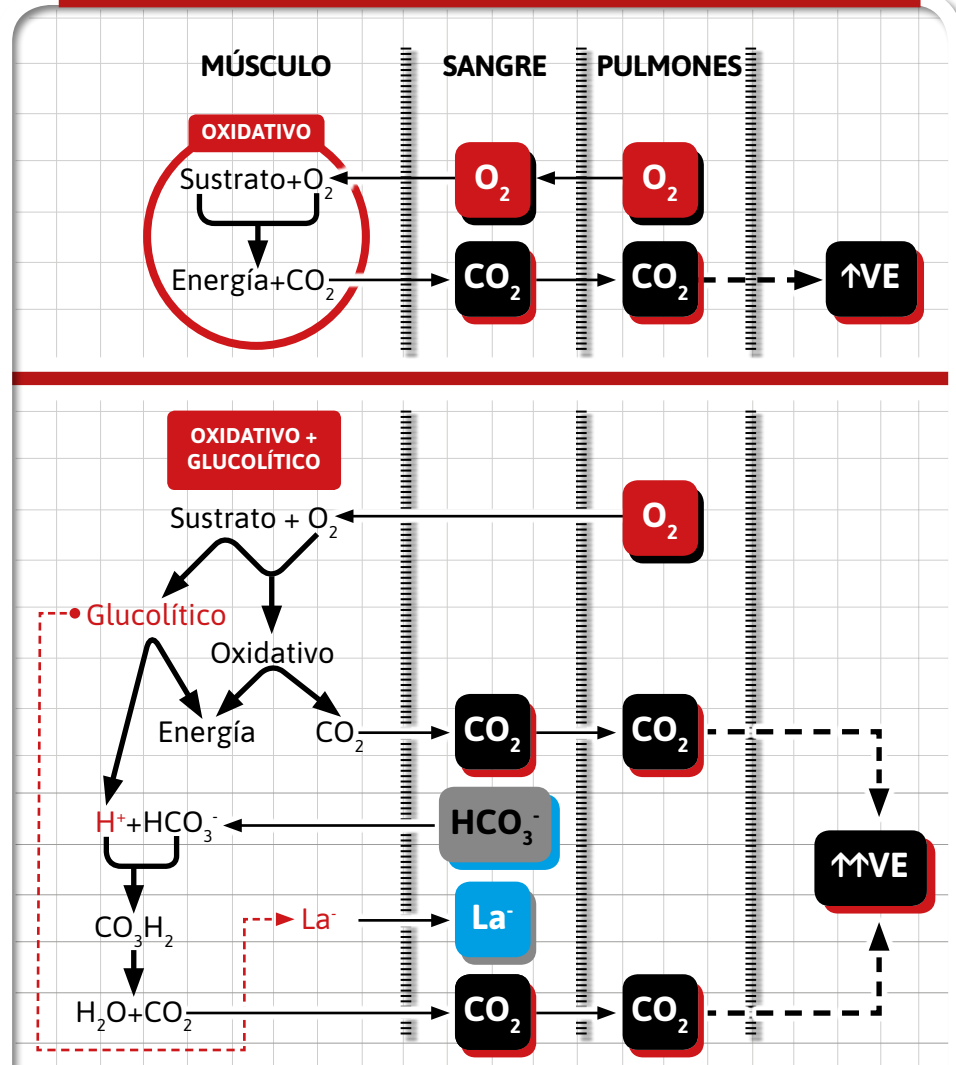
«En el ejercicio desarrollado en **Fase III los hidratos de carbono serán los que contribuyan en mayor medida a la obtención de energía para la contracción muscular**»

SISTEMA RESPIRATORIO

Superado el máximo estado estable del lactato ó VT₂, 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

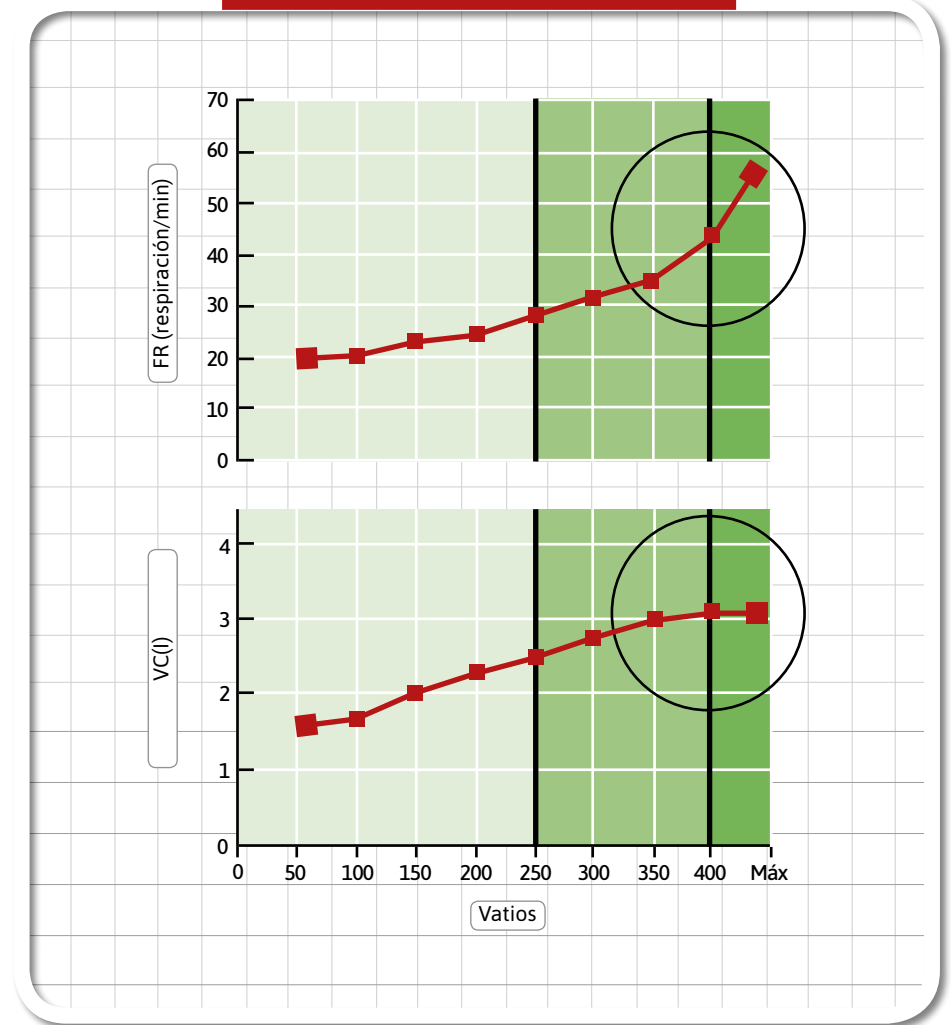
→Figura 20. Estímulos para el aumento progresivo de la ventilación pulmonar en Fase III



Estímulos para el aumento progresivo de la ventilación pulmonar en Fase III, mostrando un incremento desproporcionado respecto a la VCO₂, al recibir el centro respiratorio estímulos por la acidosis metabólica progresiva que se produce en esta Fase III. Esto provocará un descenso de la PaCO₂ (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 VCO₂, al recibir el centro respiratorio estímulos por la acidosis metabólica progresiva que se produce en esta Fase III. Esto provocará un descenso de la PaCO₂ (compensación respiratoria de la acidosis metabólica). En esta fase es posible observar un descenso en la FE_{CO₂}, mientras que la FE_{O₂} continúa aumentando, lo que significa que se podrá objetivar un aumento de los valores del VE/VCO₂ 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 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»

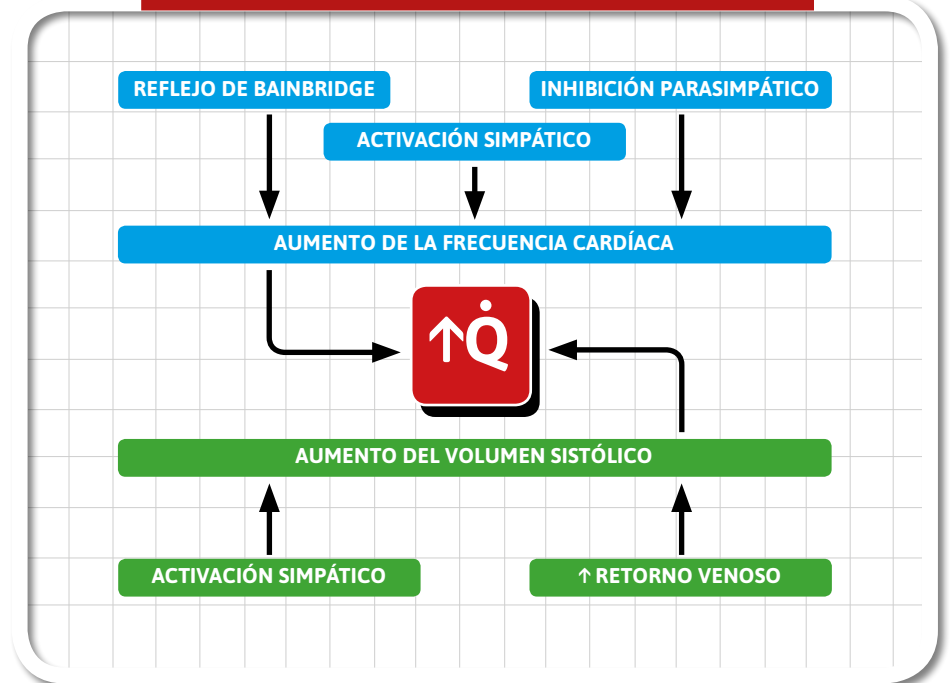
SISTEMA CARDIOCIRCULATORIO

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).

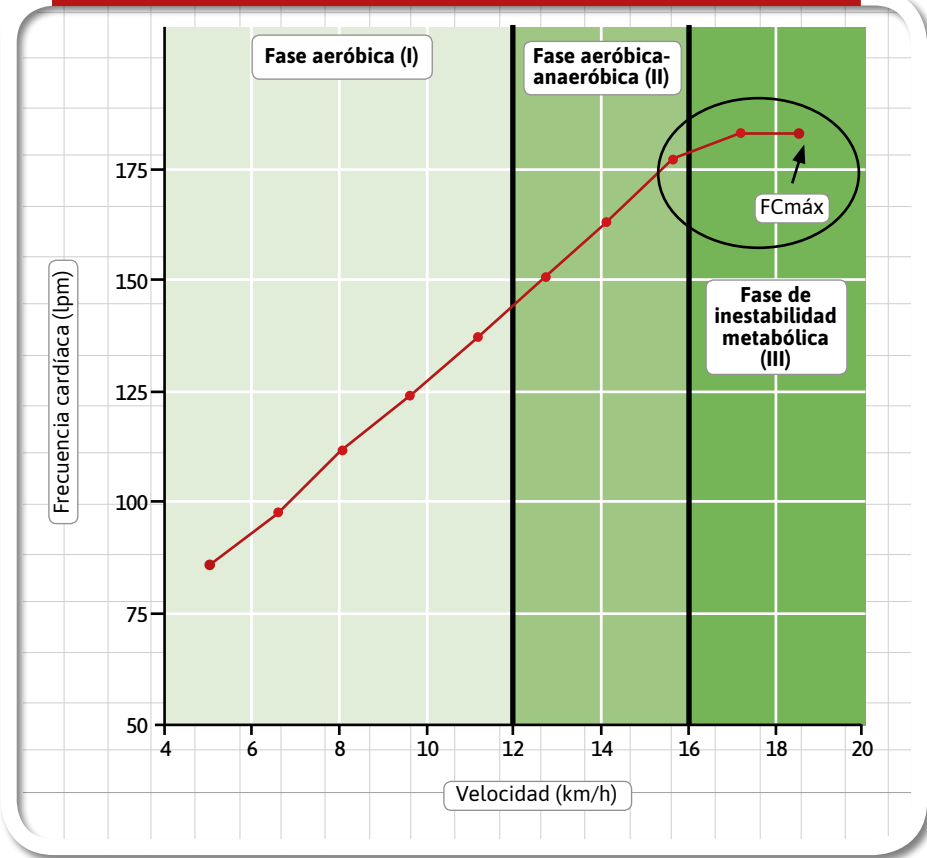
Así, por concepto, durante una sesión de HIIT el gasto cardiaco, la frecuencia cardiaca y el volumen sistólico alcanzarán sus valores máximos (Figuras 23 a 25)

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)

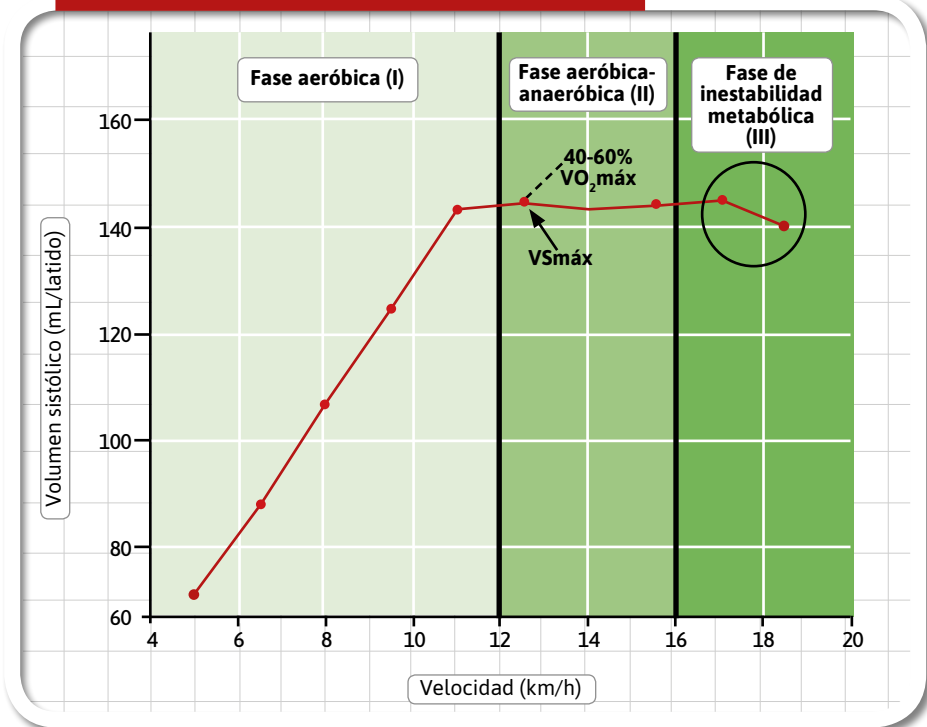
→Figura 22. Mecanismos de activación cardiaca presentes a altas intensidades de ejercicio, que justifican el aumento del gasto cardiaco (Q)



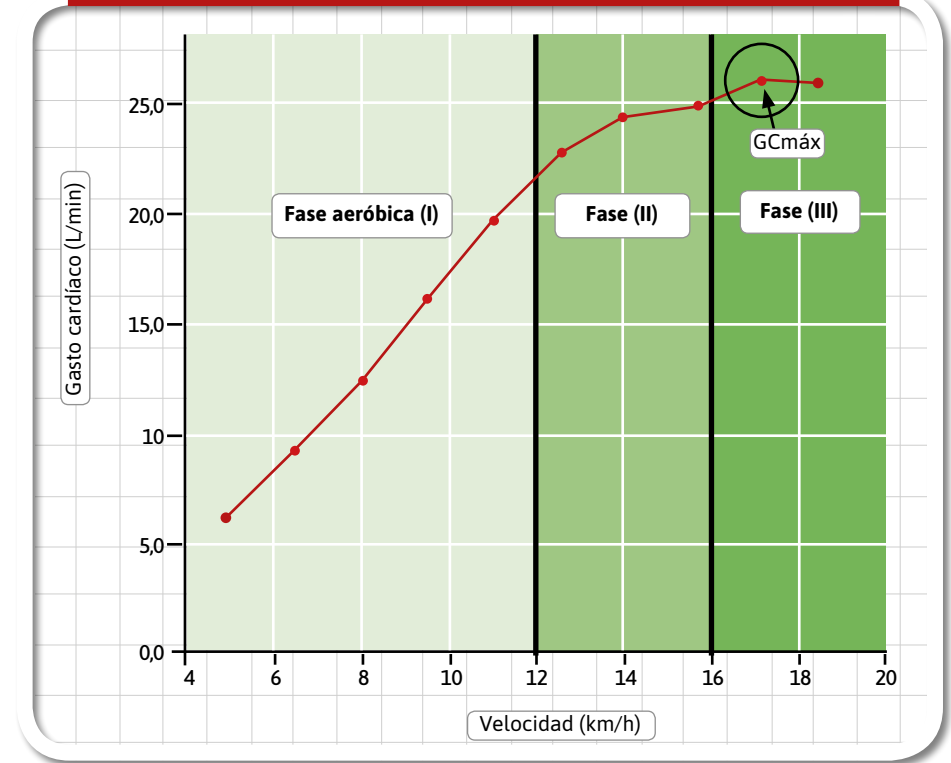
→ Figura 23. Estabilización en valores máximos de la frecuencia cardíaca (FC) en Fase III



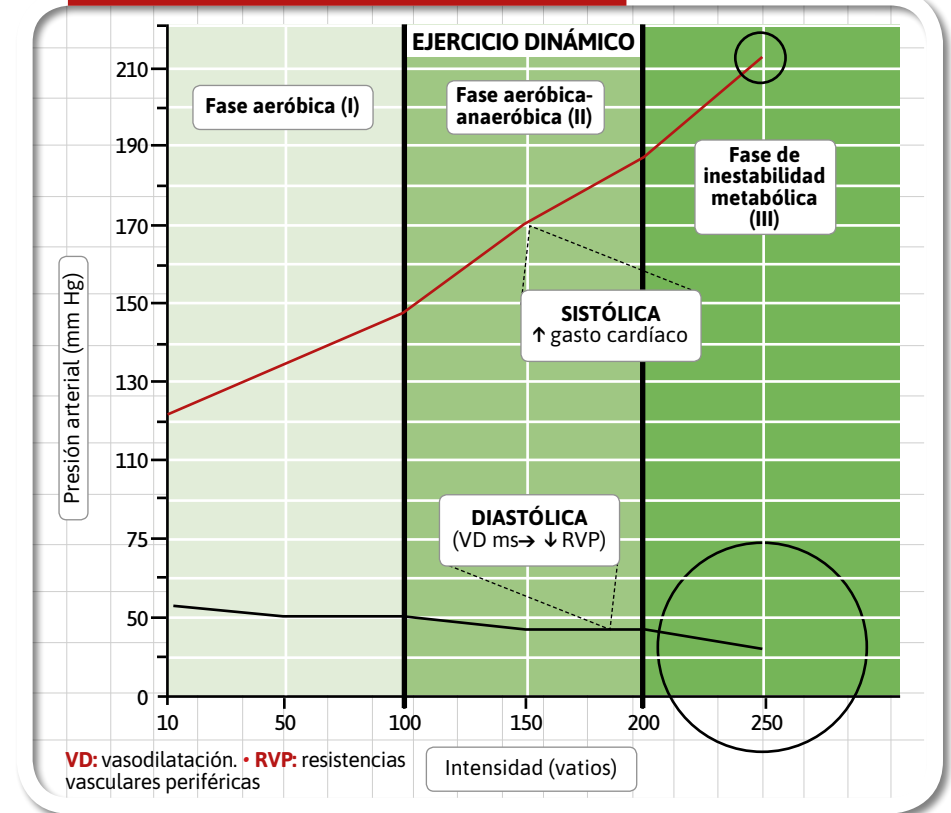
→ Figura 24. Respuesta del volumen sistólico en Fase III, mostrando incluso un descenso cerca del agotamiento del sujeto

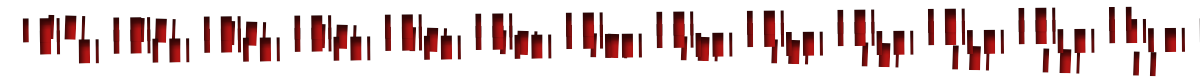


→ Figura 25. Respuesta en Fase III del gasto cardíaco, alcanzando un valor máximo estable



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





Aspectos metodológicos del **HIIT**



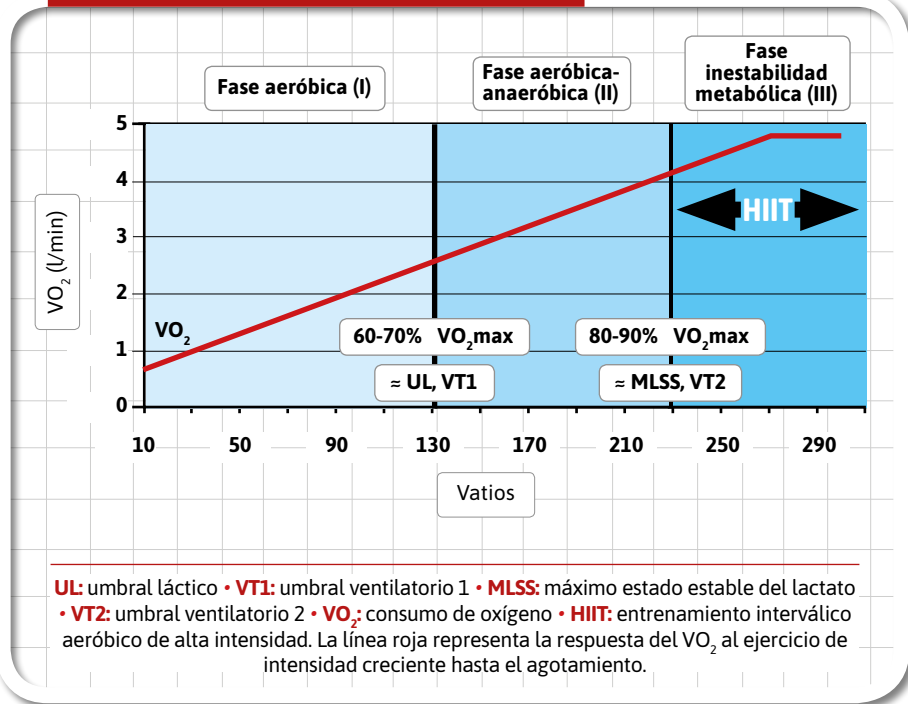
Como ya comentamos anteriormente, si tomamos como referencia el modelo trifásico, la intensidad relativa a la que se va a desarrollar una sesión de entrenamiento HIIT se situará en la denominada fase III o fase de inestabilidad metabólica. Esta fase comienza una vez superada la intensidad correspondiente al máximo estado estable del lactato o umbral ventilatorio 2, que habitualmente se detectan a intensidades correspondientes al 80-90% VO_2 max. (Figura 27).

Recordemos que es en esta Fase III, donde se alcanzan los valores máximos de VO_2 (VO_2 max), de ventilación pulmonar y de frecuencia cardiaca. También en esta Fase III, se alcanzan valores relativamente altos de lactato sanguíneo como reflejo de una destacada activación de la glucólisis citosólica.

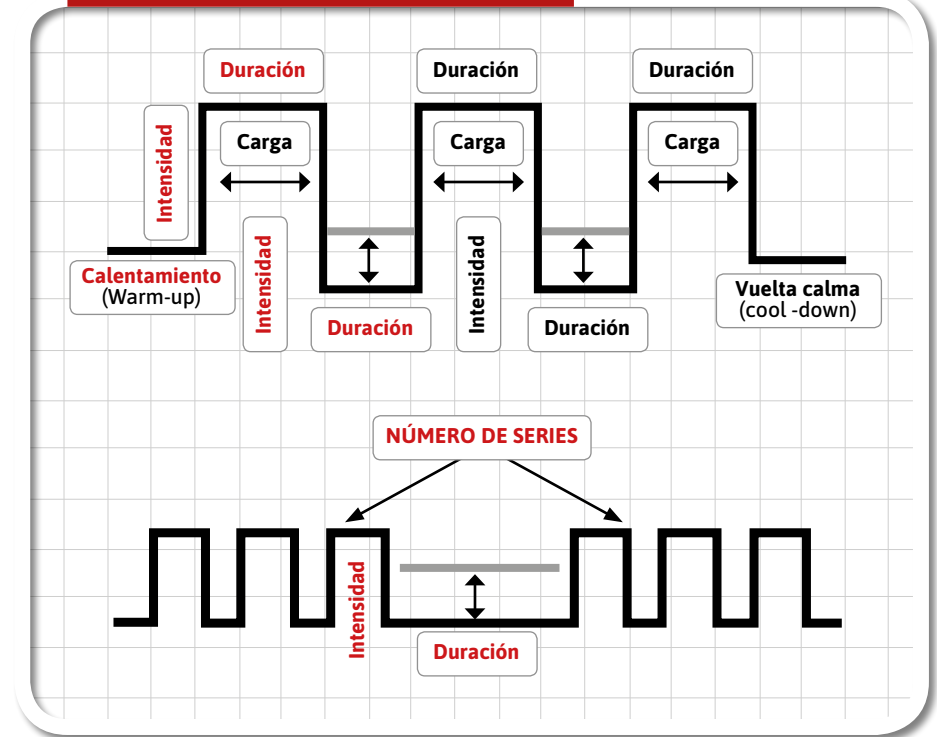
Mientras que para el diseño de una sesión de entrenamiento continuo de resistencia aeróbica es necesario manejar 2 componentes (intensidad y duración) (Figura 28), el entrenamiento interválico tiene 9 componentes para controlar: **1)** intensidad del intervalo; **2)** duración del intervalo; **3)** intensidad de la recuperación; **4)** duración de la recuperación. **5)** número de intervalos; **6)** número de series, **7)** duración del periodo entre serie. **8)** periodo de calentamiento; y **9)** vuelta a la calma (Figura 29)

*«Mientras que para el diseño de una sesión de entrenamiento continuo de resistencia aeróbica es necesario manejar 2 componentes (intensidad y duración) **el entrenamiento interválico tiene 9 variables para controlar**»*

→Figura 27. Modelo trifásico de intensidad de ejercicio aeróbico. El HIIT se desarrollará en la Fase III



→Figura 29. En contraste con el entrenamiento continuo el HIIT tiene 9 variables a controlar



Cualquier variación en alguna de las 9 variables que conforman una sesión de HIIT, va a tener repercusión sobre el estrés recibido por los diferentes sistemas y por consiguiente en sus adaptaciones. (Figura 30)

Estructurar una sesión de entrenamiento en base a procesos fisiológicos que impliquen fases de recuperación se hace muy complicado, y mucho más conocer la relación entre la respuesta y la adaptación. Esto es lo que ocurre con el HIIT, por lo que no pueden existir patrones oro de diseño y aplicación,

→Figura 28. Entrenamiento continuo

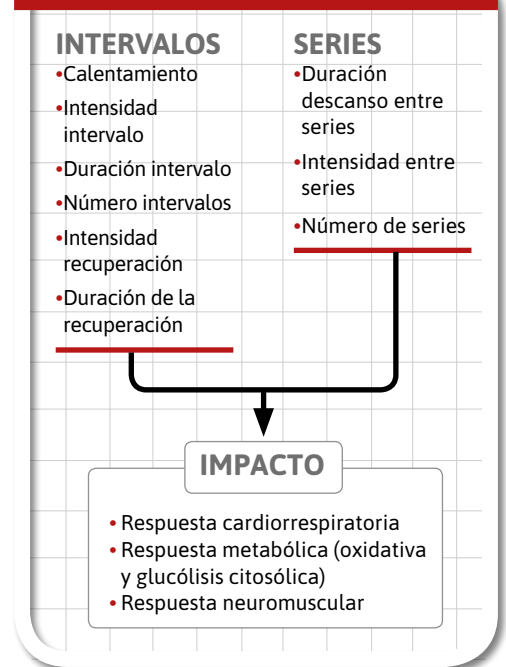


«No pueden existir patrones oro de diseño y aplicación del HIIT al estar sujeto a respuestas individuales»

máxime cuando hay nueve variables cuya modificación puede cambiar sustancialmente la respuesta esperada y como consecuencia de ello la adaptación alcanzada.

Veamos entonces como estructurar metodológicamente una sesión de entrenamiento de HIIT. En este contexto es importante remarcar que abordaremos este diseño metodológico desde la perspectiva de una genuina sesión de HIIT, dejando de lado por ahora todas aquellas aproximaciones edulcoradas al HIIT.

→Figura 30. Influencia de los componentes de una sesión de HIIT sobre las respuestas fisiológicas

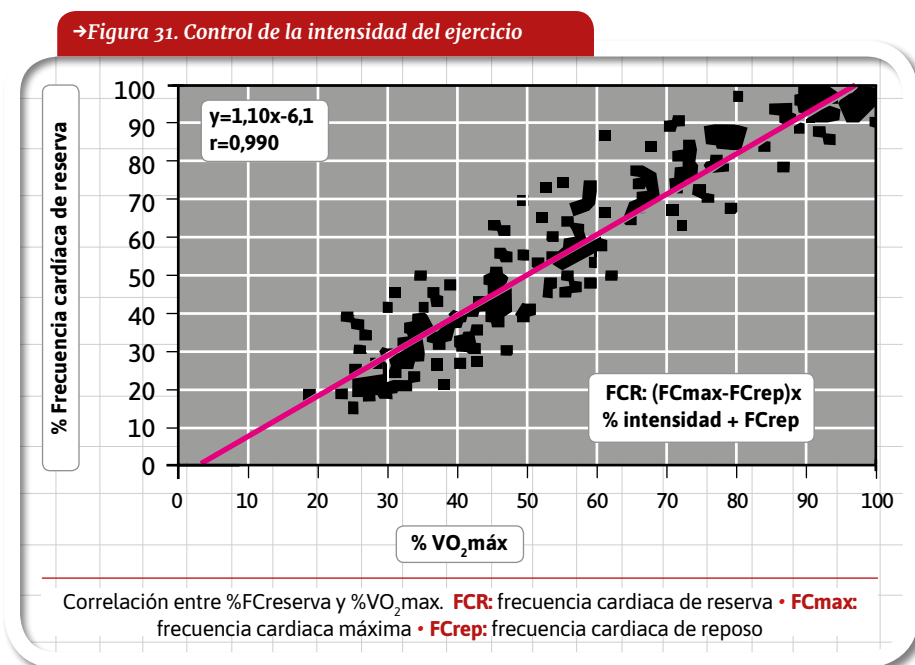


INTENSIDAD DE LOS INTERVALOS

Controlar la intensidad del intervalo es un elemento decisivo en relación a la eficacia de esta modalidad de entrenamiento. Para ese control podremos utilizar diferentes variables fisiológicas:

1) FRECUENCIA CARDIACA (FC)

Intentar controlar la intensidad del intervalo mediante la FC conlleva respuestas individuales de gran variabilidad. En cualquier caso, la intensidad fijada por la FC debería situarse al 90-95% FCreserva para estar seguros de situarnos en una intensidad idónea de HIIT, ya que el %FCreserva mantiene una alta correlación con el %VO₂max.(Figura 31)

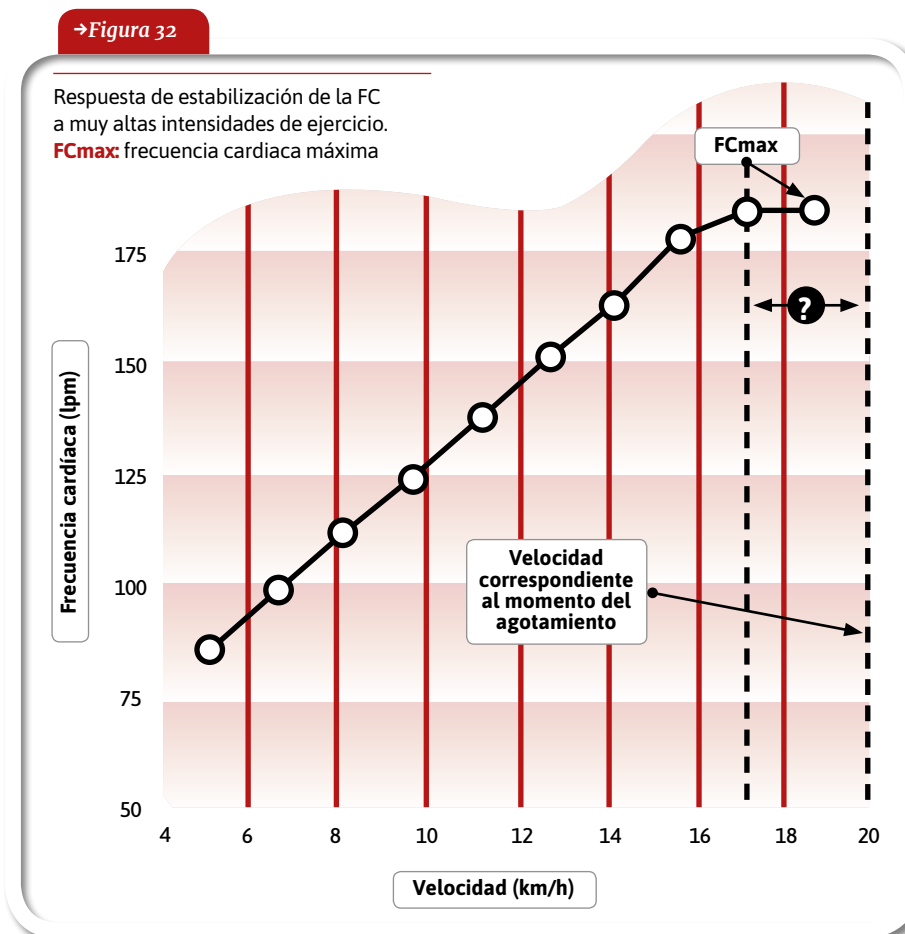


«Intentar controlar la intensidad del intervalo mediante la FC conlleva respuestas individuales de gran variabilidad»

Otra alternativa es utilizar la FCmax. Para conocer este dato es necesario la realización de una prueba de esfuerzo hasta el agotamiento. Una alternativa indirecta, por lo que acumula errores, es hacerlo mediante fórmulas indirectas (FCmax= 220 – edad). Pues bien, si utilizamos la FCmax como índice de intensidad, debería de alcanzar el 95-100% FCmax.

Además de la variabilidad individual en los valores de frecuencia cardíaca, otro limitante de utilizar esta variable como control de la intensidad, es que la frecuencia cardíaca puede no informar de la intensidad de ejercicio realizado más allá de la velocidad o potencia asociada al VO₂max al alcanzar la FC una meseta estable que no variará, aunque se aumente más la velocidad o la potencia desarrollada (Figura 32). Así, en la figura se puede apreciar como el sujeto ya alcanzó su FCmax a una velocidad de 17,5 km/h manteniendo su valor hasta el punto del agotamiento a 20 km/h. Por tanto, a partir de una determinada intensidad la FC no es sensible a incrementos de la misma, lo que constituye una importante limitación.

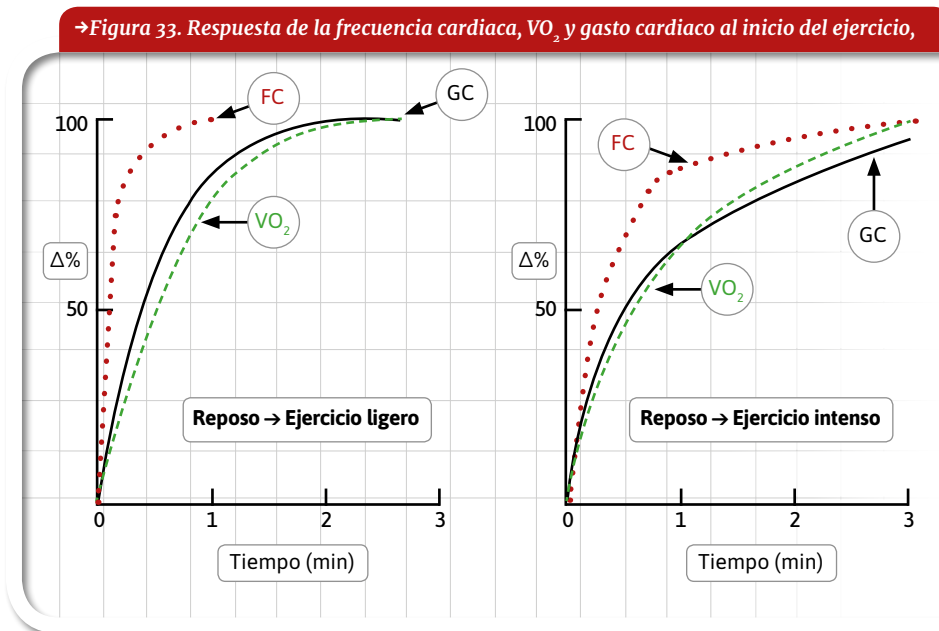
«La frecuencia cardíaca puede no informar de la intensidad de ejercicio realizado más allá de la velocidad o potencia asociada al VO₂max al alcanzar una meseta estable»



Por otra parte, y en referencia a la cinética de respuesta de la frecuencia cardiaca durante el ejercicio:

- 1 La cinética de la misma en su aumento es diferente para los sujetos, de manera que en los sujetos mejor entrenados en resistencia aeróbica la respuesta de la frecuencia cardiaca es más acelerada
- 2 La respuesta de la FC es más rápida que la del VO_2 al inicio del ejercicio, lo que puede sobreestimar la intensidad desarrollada (Figura 33). Así, en la transición del reposo al ejercicio de baja intensidad o al ejercicio de alta intensidad (ej. HIIT), la respuesta de la FC muestra una mayor aceleración respecto a la del VO_2 o gasto cardiaco, por lo que si nos apoyamos en la FC para monitorizar la intensidad del ejercicio (intervalo) estaremos probablemente sobrevalorando la intensidad idónea. También se puede observar, que la cinética de la frecuencia cardiaca se ajusta al VO_2 y al gasto cardiaco cuando se parte de un ejercicio de una cierta intensidad. De ahí la importancia de un buen calentamiento en las sesiones de HIIT y del reposo activo entre los intervalos de la sesión de HIIT.

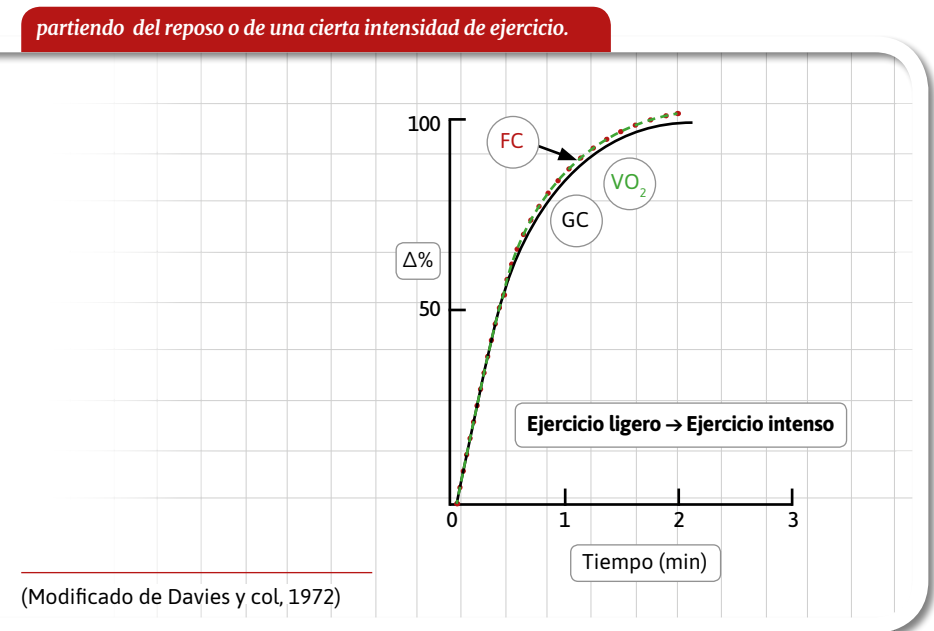
«La respuesta de la FC es más rápida que la del VO_2 al inicio del ejercicio, lo que puede sobreestimar la intensidad desarrollada»



Otra pregunta que nos podemos hacer respecto al control de la intensidad de ejercicio en los intervalos del HIIT, es si realmente sus valores nos muestran el estrés metabólico (que es lo importante) al que está siendo sometido el organismo. En la figura 34 podemos observar los valores medios de la FC como resultado de dos modalidades de entrenamiento: HIIT corto con intervalos de 20 s y entrenamiento continuo. Conforme el tiempo de recuperación entre intervalos sea más corto, el comportamiento de la FC se hará más similar a una carga de trabajo de intensidad constante, pero desarrollando mucha más intensidad de ejercicio. Así pues, la FC durante el ejercicio interválico no necesariamente ofrece información precisa sobre el estrés metabólico periférico muscular, así el mero hecho de aumentar la cadencia de pedaleo en una sesión de HIIT en bicicleta ya aumentará la FC para la misma intensidad, por medio de la activación de los mecanorreceptores.

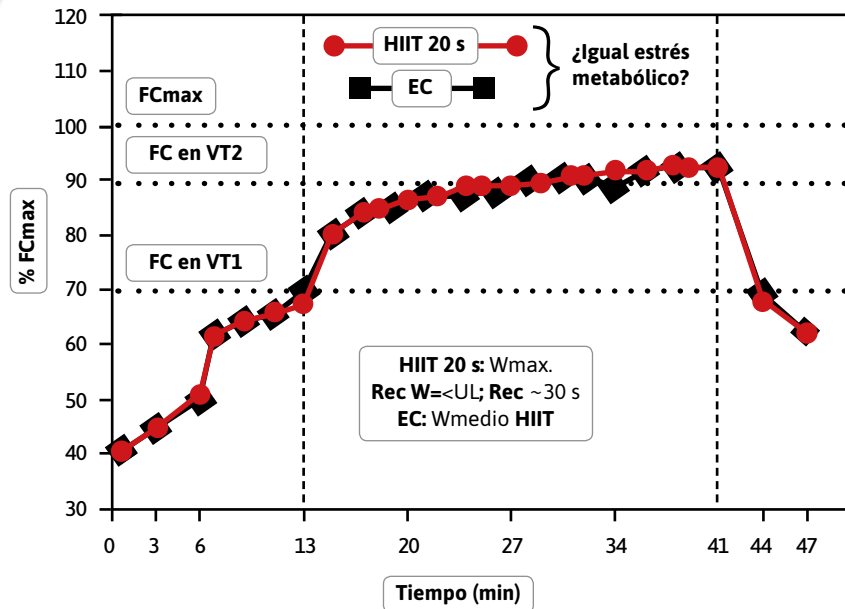
En la Figura 35, podemos ver que frente a tres sesiones de entrenamiento diferentes en intensidad (entrenamiento continuo, intervalos de 20 s e intervalos de 4 min), la frecuencia cardiaca media de la sesión en conjunto fue similar.

«La FC durante el ejercicio interválico no necesariamente ofrece información precisa sobre el estrés metabólico periférico muscular»



(Modificado de Davies y col, 1972)

→Figura 34. Respuesta de la frecuencia cardiaca (FC) durante dos sesiones de ejercicio: entrenamiento continuo (EC) y HIIT 20s.



HIIT 20 s.: HIIT corto de intervalos de 20 s. Intensidad correspondiente a la potencia máxima alcanzada en prueba de esfuerzo (Wmax) y recuperación de 30 s a una carga menor que la correspondiente al umbral láctico (UL) • **EC:** entrenamiento continuo manteniendo la intensidad media desarrollada durante la sesión de HIIT • **VT1:** umbral ventilatorio 1 • **VT2:** umbral ventilatorio 2 • **FCmax:** frecuencia cardiaca máxima • **FC:** frecuencia cardiaca. (Modificado de Tschakert & Hofmann, 2013)

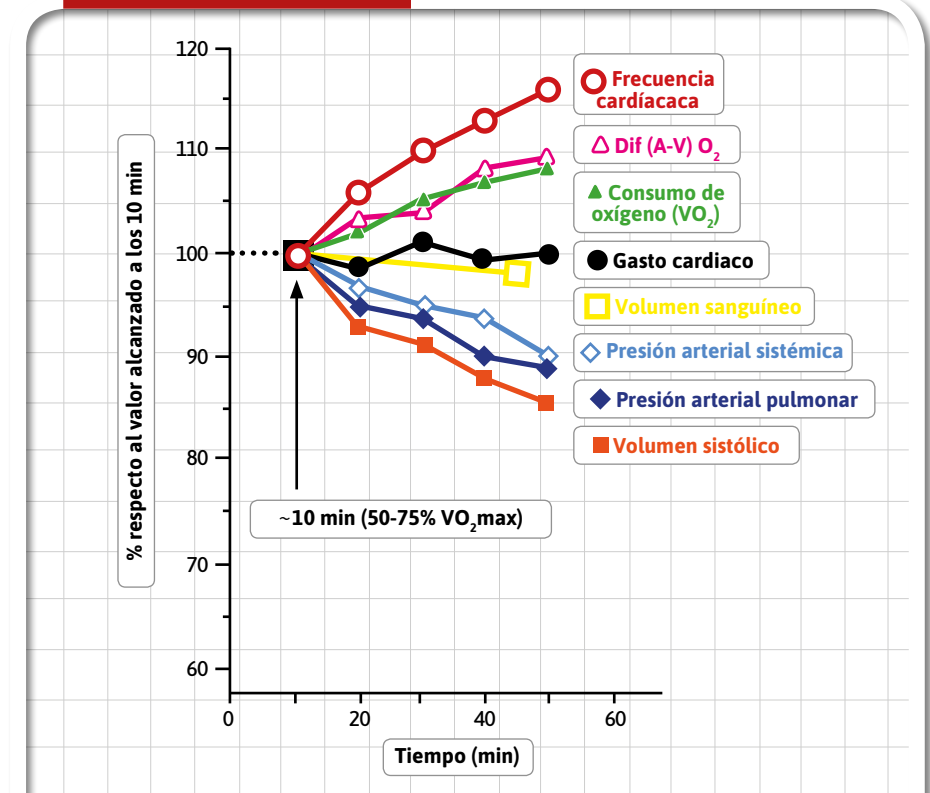
→Figura 35. Valores medios de la carga desarrollada (W), niveles de lactato en sangre (La), frecuencia cardiaca (FC) y VO₂, durante 3 protocolos de ejercicio diferentes.

		W	La (mmol·l ⁻¹)	FC(lpm)	VO ₂ (l·min ⁻¹)
Valores medios	EC	213,2 (42)	4,14 (1,84)	167 (8,6)	3,32(0,59)
	HIIT 20s	217,2 (42,2)	5,22 (1,41)	168 (5,7)	3,37(0,58)
	HIIT 4x4 min	214,5 (43,1)	9,83 (2,78)	167 (4,9)	3,19(0,53)

EC: entrenamiento continuo • **HIIT 20 s:** HIIT corto de intervalos de 20 s • **HIIT 4x4 min:** HIIT largo con intervalos de 4 min. Los niveles de lactato fueron más elevados con el HIIT largo. Los datos se presentan como media (±DE). (Modificado de Tschakert & Hofmann, 2015)

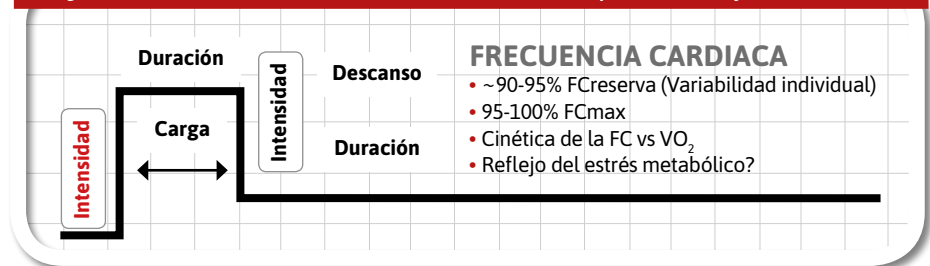
Por último, no hay que olvidar el aumento fisiológico de la frecuencia cardiaca que se produce una vez transcurrido un tiempo de ejercicio a una intensidad determinada (drift cardiovascular) (Figura 36). Esta respuesta ensombrece la utilidad de la FC como marcador de intensidad metabólica del ejercicio. En la Figura 37 mostramos un resumen de este apartado.

→Figura 36. Cardiovascular Drift



La frecuencia cardiaca y el VO₂ aumentan sus valores en función del tiempo aún manteniendo la carga de trabajo desarrollada, a partir de ~10 min de ejercicio a intensidades entre 50-75% VO₂max. **Dif (A-V) O₂** : diferencia arteriovenosa de oxígeno. (Modificado de Coyle y González-Alonso, 2001)

→Figura 37. Resumen del control de la intensidad de los intervalos por medio de la frecuencia cardiaca



2) PERCEPCIÓN SUBJETIVA DEL ESFUERZO (RPE)

Otra posibilidad para controlar la intensidad en los intervalos del HIIT es utilizar la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE). Un valor de 18-19 en la escala tradicional (6-20 de Borg), probablemente nos asegure situarnos en una intensidad idónea para desarrollar una sesión de HIIT (Figura 39).

«Un valor de 18-19 en la escala tradicional (6-20 de Borg), probablemente nos asegure situarnos en una intensidad idónea para desarrollar una sesión de HIIT»

Hay que considerar, no obstante, que el control de la intensidad del intervalo en el HIIT por medio de la RPE va a depender en gran manera, casi decisivamente, de la experiencia del atleta; así, a mayor experiencia y categoría del deportista mejor ajuste de la intensidad fisiológica. Probablemente esta metodología de control de la intensidad no esté indicada en sujetos que se inician en el entrenamiento deportivo, ni en sedentarios. (Figura 38)

→Figura 38. Control de la intensidad de los intervalos mediante la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE)

Percepción subjetiva del esfuerzo (RPE)

- ~18-19 (Borg 6-20)
- Depende mucho de la experiencia del atleta
- No requiere conocimiento fisiológico del atleta
- Se adecúa a cambios en las condiciones ambientales, terreno...
- Es complicado manipular durante el HIIT

→Figura 39. Control de la intensidad de los intervalos en el HIIT mediante percepción subjetiva del esfuerzo (RPE)

Fase Aeróbica (I)	6	Muy, muy ligero
	7	
	8	Muy ligero
	9	
	10	Ligero
	11	
Fase aeróbica - anaeróbica (II)	12	Algo duro
	13	
	14	Duro
	15	
Fase inestabilidad metabólica (III)	16	Muy duro
	17	
	18	Muy, muy duro
	19	
	20	

VENTAJAS

- No requiere conocimiento fisiológico del atleta, solo su apreciación subjetiva del esfuerzo
- Se adecúa a cambios en condiciones ambientales, terreno, etc

DESVENTAJAS

- Es complicado de manipular durante el HIIT, debido a la alternancia de periodos de ejercicio y recuperación

3) VELOCIDAD O POTENCIA AERÓBICA MÁXIMA (VAM/PAM)

Hace más de 30 años, los investigadores Billat y col (1996), popularizaron el concepto de velocidad ó potencia asociada a VO_2max (v/p VO_2max ó velocidad/potencia aeróbica máxima, VAM/PAM), constituyendo probablemente esta variable el patrón oro de la intensidad idónea para desarrollar una sesión genuina de HIIT.

Determinación de la VAM/PAM

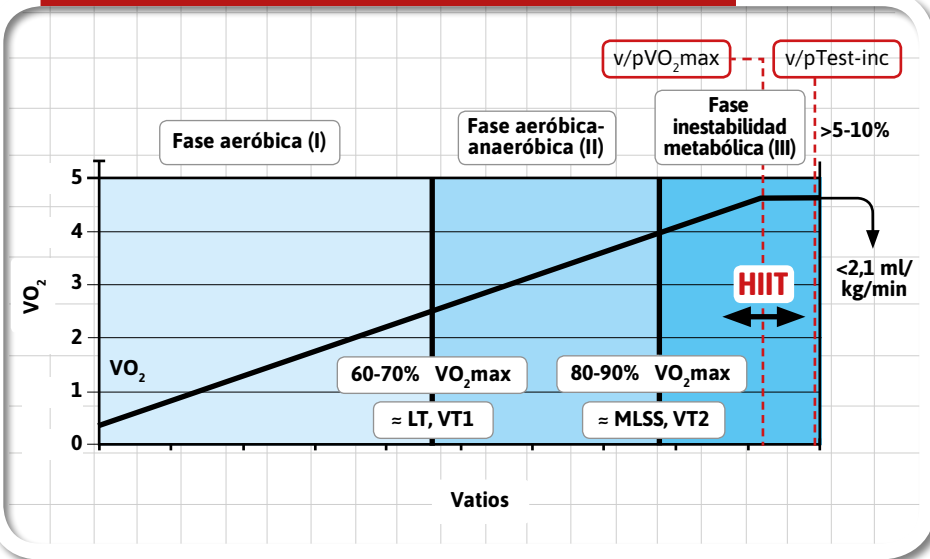
La v/p VO_2max (VAM, PAM), representa la menor velocidad o potencia necesaria para alcanzar el VO_2max , y para poder determinar (medir) ese valor se hace necesaria la realización de una prueba de esfuerzo de máxima intensidad con análisis de gases respiratorios en la que se alcancen criterios de meseta estable del VO_2 (estabilidad: <2,1 ml/kg/min, del VO_2 a pesar de seguir aumentando velocidad y/o potencia de ejercicio). (Figura 40)

Se puede estimar (no medir) la VAM/PAM por metodologías indirectas, aunque ya conocemos que toda estimación acumula más o menos errores respecto al valor verdadero de una variable fisiológica dada.

«La VAM/PAM, representa la integración del VO_2max y del costo energético en un único factor.»

➤ **En primer lugar**, se puede estimar la VAM/PAM mediante una prueba de esfuerzo incremental de carácter máximo sin la necesidad de utilizar un analizador de gases respiratorios, ya sea en laboratorio o en test de campo. Esta metodología requiere únicamente alcanzar el carácter máximo en la prueba de esfuerzo para determinar la máxima velocidad o potencia en el punto del agotamiento, es decir, velocidad o potencia en el máximo esfuerzo (V/P max). Pues bien, para la mayoría de los sujetos la V/P max, suele ser entre un 5-10% superior (en velocidad o potencia) a la VAM/PAM, dependiendo del estado de entrenamiento del sujeto (Figura 40). Así pues, se podrá estimar la v/p VO_2 max restando un 5-10% del valor correspondiente a la V/P max.

→Figura 40. Determinación de la v/p VO_2 max, en el ejemplo la PAM, que representa la menor potencia necesaria para alcanzar el VO_2 max.



➤ **En segundo lugar**, se pueden utilizar test indirectos de estimación de la VAM/PAM. Distintos autores han propuestos diferentes test para estimar la velocidad o potencia aeróbica máxima (Figura 41). Como cualquier estimación, estos test acumulan errores en la determinación real de la v/p VO_2 max.

→Figura 41. Test indirectos de estimación de la VAM ó PAM

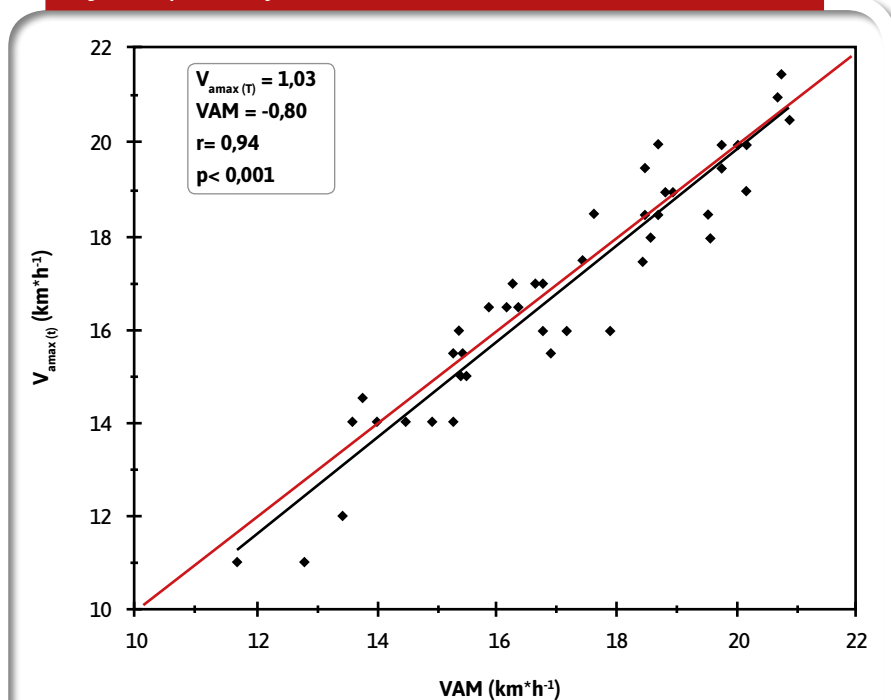
- Test Léger y Boucher, 1980
- Test VAM-EVAL (Cazorla y col, 1993)
- Test Navette (Léger y Lambert, 1982)
- Test Yoyo (Bangsbo y col, 2008)
- Test 30-15 s Intermittent Fitness Test (Buchheit, 2008)

➤ **En tercer lugar**, y específicamente para la carrera, hay dos metodologías indirectas muy prácticas que pueden ser utilizadas para estimar la VAM, y que han mostrado una muy buena correlación con los valores de v/p VO_2 max. Eso si, estos test aportan estimaciones más exactas conforme mayor es el nivel atlético del sujeto evaluado.

→**Test de los 5 min.** Berthom y col, 1997, observaron una correlación de 0,94 ($p<0,001$), entre la velocidad media en 5 min de carrera en pista a la máxima intensidad posible y los valores de la VAM, medidos en una prueba de esfuerzo con análisis de gases respiratorios. (Figura 42)

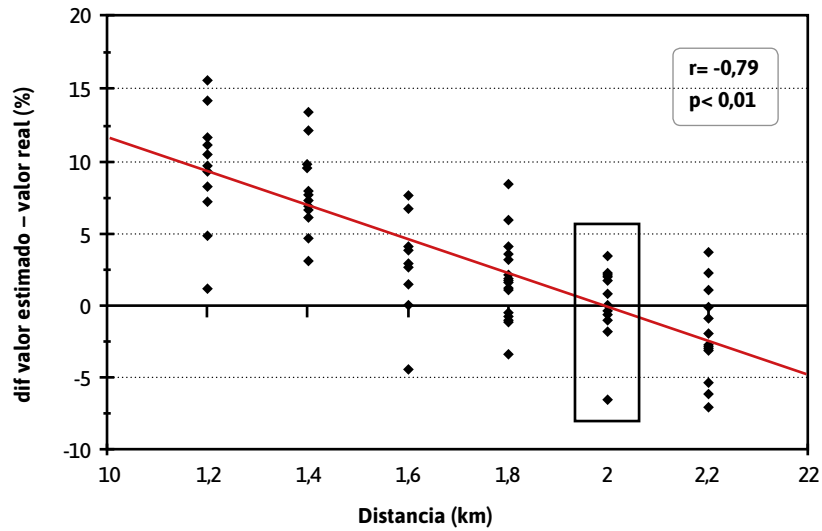
→**Test de 2000 m.** (Bellenger y col, 2015), Similar al anterior, los autores evaluaron las correlaciones entre las velocidades medias en distintas distancias de carrera realizadas a máxima intensidad (1200 a 2200 m), observando que la velocidad media en la distancia de 2000 m mostró la correlación más alta respecto a la v/p VO_2 max. (Figura 43)

→Figura 42. Correlación de la VAM medida en prueba de esfuerzo con análisis de gases respiratorios y la VAM estimada a través de un test de los 5 min.



La gráfica muestra una elevada correlación entre el valor de la VAM medido en prueba de esfuerzo con análisis de gases respiratorios, y el estimado en un test corriendo de 5 min de máxima intensidad (Berthom y col, 1997). V_{amax} : velocidad aeróbica máxima medida en ergoespirometría • VAM: estimada en test de los 5 min. (Modificado de Berthom P y col, 1997)

→Figura 43. Correlación entre la velocidad aeróbica máxima y la velocidad media en diferentes distancias.



La distancia de 2 km fue la que obtuvo mayor correlación con la VAM.
(Adaptado de Bellerger y col, 2015)

Metodologías para estimar la v/pVO₂max

- v/p max (velocidad o potencia asociada al máximo esfuerzo aeróbico)
 - Tests indirectos
 - Test de los 5 min
 - Test de los 2000 m

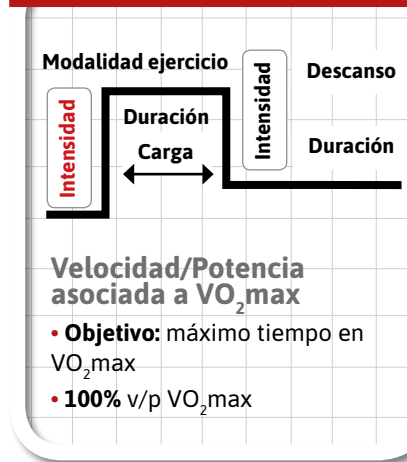
Aspectos metodológicos en la aplicación de la VAM/PAM (Figura 44)

Lo primero que ha de quedar claro desde un punto de vista conceptual, es que el objetivo del HIIT es situar al atleta el máximo tiempo posible en o cerca del VO₂max, siempre que ello no provoque una incapacidad de adaptación (sobre-entrenamiento).

«El objetivo del HIIT es situar al atleta el **máximo tiempo posible en o cerca del VO₂max**»

Así, la intensidad recomendada para los intervalos en una sesión de HIIT será la correspondiente a la v/p VO₂max (velocidad, VAM ó potencia, PAM), es decir, 100% v/p VO₂max. Ello no quiere decir que intensidades del

→Figura 44

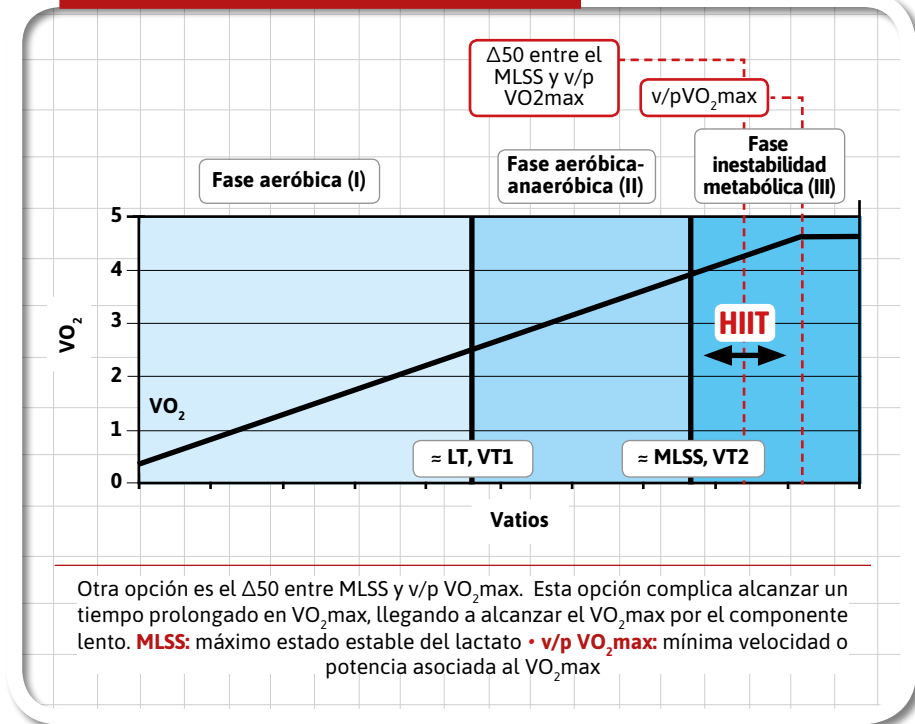


90, 95 ó 110% de la v/p VO₂max, no sean eficaces, sino que finalmente hay que posicionarse para abordar metodológicamente esta modalidad de entrenamiento. Por consiguiente, fijamos la intensidad idónea en el 100% de la VAM/PAM.

«La intensidad idónea para el HIIT es del **100% VAM/PAM**»

Utilizar menores intensidades de ejercicio (Δ50 entre el MLSS y v/p VO₂max, aprox. 92% v/p VO₂max) complica lograr un tiempo prolongado en VO₂max, aunque finalmente se puede llegar a alcanzar el VO₂max por el componente lento del VO₂, necesitando para ello varios intervalos y quizás series. (Figura 45)

→Figura 45. Intensidad del intervalo situada en Δ 50 entre el MLSS y v/p VO₂max, aprox. 92% v/p VO₂max

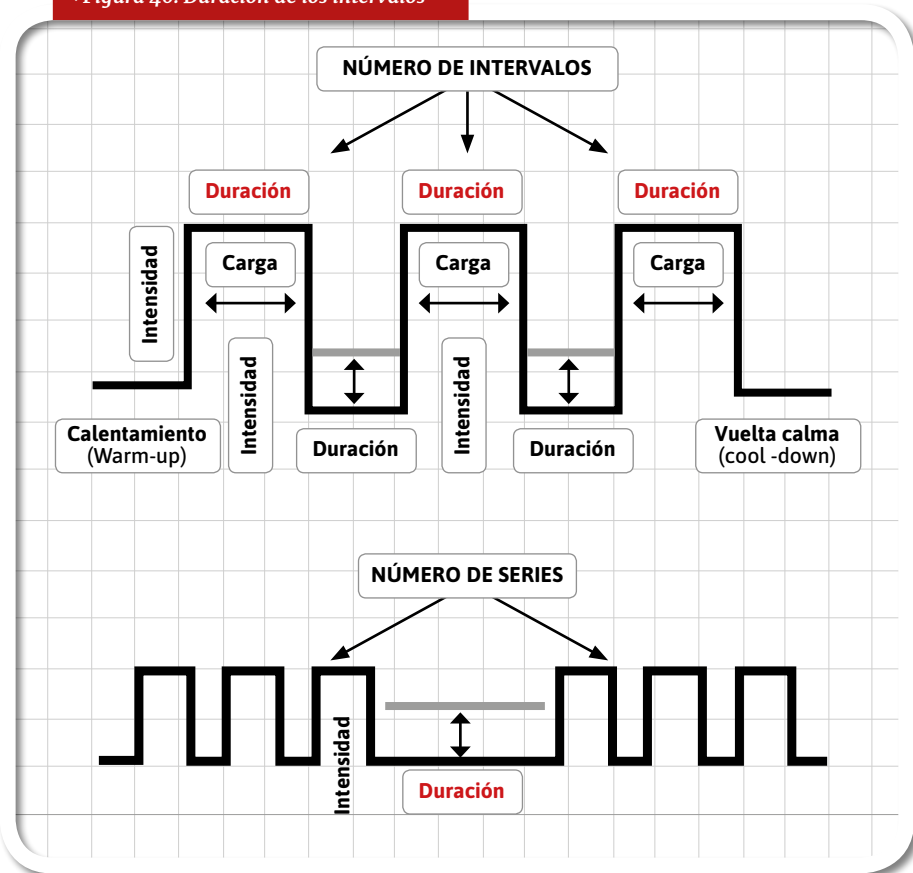


DURACIÓN DE LOS INTERVALOS (Figura 46)

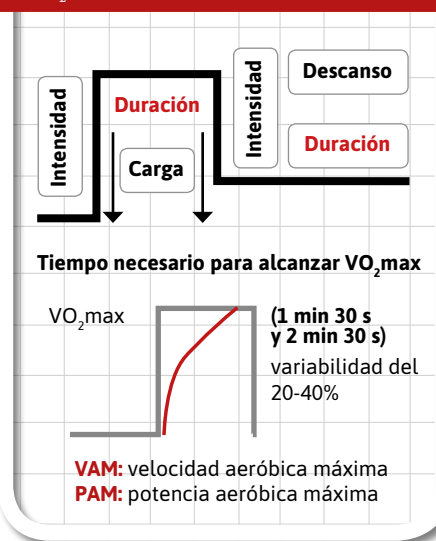
Para poder fijar la duración idónea de un intervalo en una sesión de HIIT, se hace imprescindible conocer el tiempo necesario para alcanzar el $VO_2\text{max}$ a una intensidad correspondiente a la VAM/PAM (Figura 47). Ese dato solo puede conocerse (medirse) mediante la realización del análisis de gases respiratorios efectuado durante un test desarrollado a tal efecto. Ese tiempo ha sido evaluado y se sitúa en un rango entre 1 min 30 s y 2 min 30 s, con una variabilidad del 20-40%.

«Para poder fijar la duración idónea de un intervalo en una sesión de HIIT, se hace imprescindible conocer el **tiempo necesario para alcanzar el $VO_2\text{max}$ a una intensidad correspondiente a la VAM/PAM**»

→Figura 46. Duración de los intervalos



→Figura 47. Tiempo necesario para alcanzar el $VO_2\text{max}$ a intensidad VAM/PAM.



Hay que tener en cuenta, que el tiempo necesario para alcanzar el $VO_2\text{max}$ a una intensidad correspondiente al 100% de la VAM/PAM depende en gran manera del estado de entrenamiento del sujeto, de tal suerte que los sujetos mejor entrenados alcanzarán antes el $VO_2\text{max}$. Como es lógico, este factor condicionará la duración del intervalo.

También la modalidad del ejercicio puede condicionar el tiempo necesario para alcanzar el $VO_2\text{max}$; así, parece que la carrera acelera la cinética del VO_2 respecto al ejercicio en bicicleta, acortando por tanto el tiempo necesario para alcanzar el $VO_2\text{max}$. (Figura 48)

«El tiempo necesario para alcanzar el $VO_2\text{max}$ a una intensidad correspondiente al 100% de la VAM/PAM, depende de: **Estado de entrenamiento del sujeto y modalidad de ejercicio**»

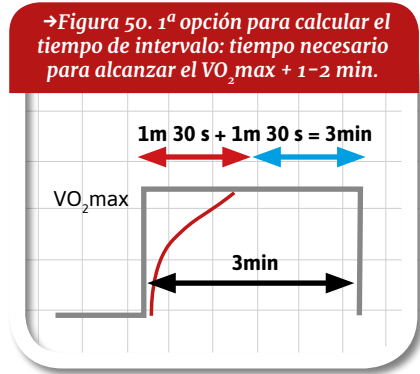
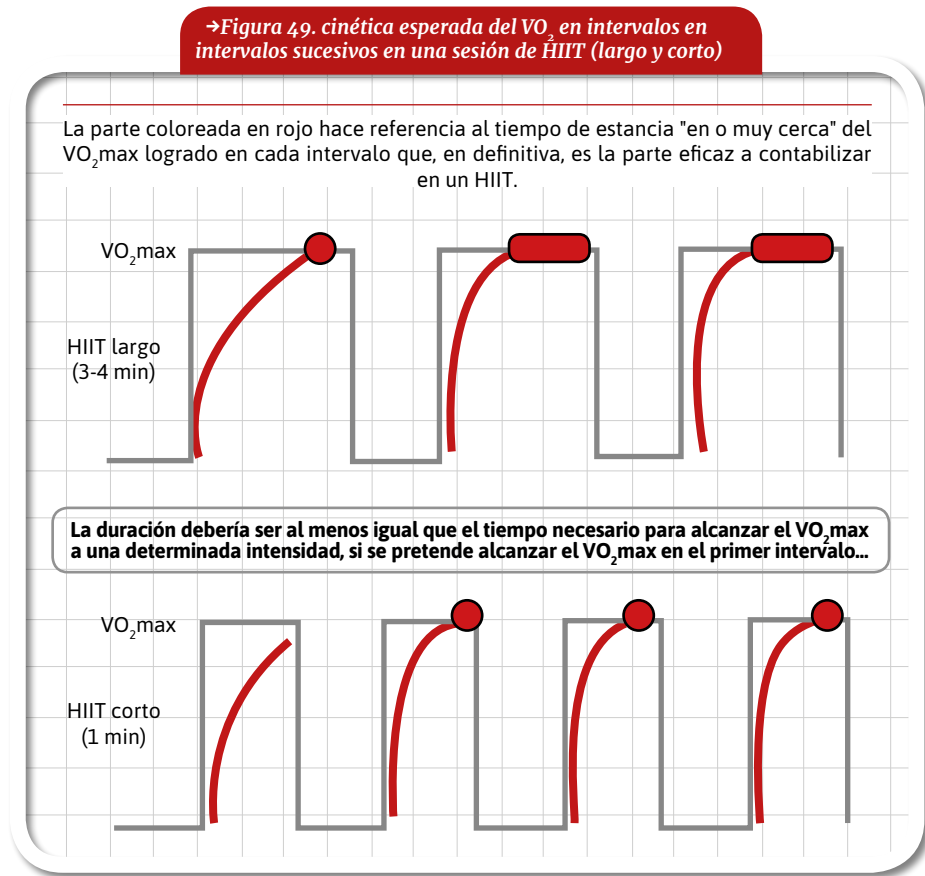
→Figura 48. Efectos de la modalidad de ejercicio (ciclismo vs carrera) sobre el tiempo necesario para alcanzar el $VO_2\text{max}$

Parámetro	Tapiz rodante		Bicicleta		t-test
	Media	SD	Media	SD	
Tiempo hasta la fatiga (s)	297	(15)	298	(14)	n.s. p=0,95
Tiempo hasta alcanzar $VO_2\text{max}$ (s)	115	(20)	207	(36)	P<0,01
Tiempo en valores de $VO_2\text{max}$ (s)	182	(28)	91	(38)	P<0,01
$VO_2\text{max}$	3139	(755)	2893	(659)	P<0,02

Se observa que la carrera se asoció a un menor tiempo para alcanzar el $VO_2\text{max}$ y a una mayor estancia en o muy cerca del $VO_2\text{max}$. (Modificado de Hill y col, 2013)

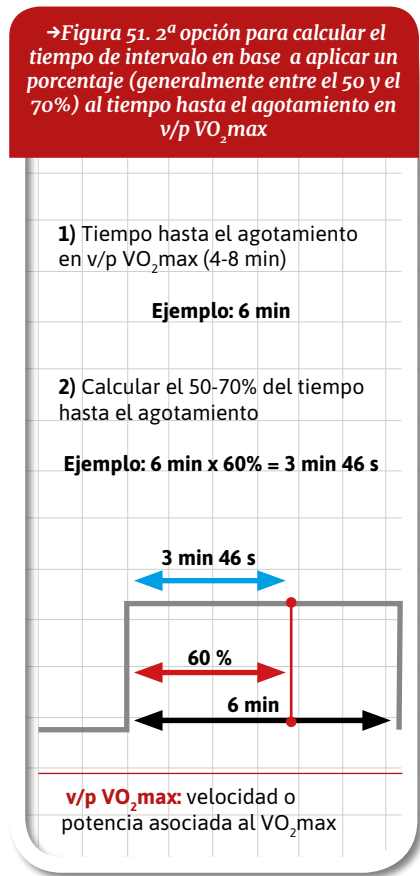
En cualquier caso, la duración de un intervalo debería ser al menos igual que el tiempo necesario para alcanzar el VO_2 max a una determinada intensidad, si lo que se pretende es alcanzar el VO_2 max en el primer intervalo, que es lo habitual y lo deseable. Los intervalos que siguen al primero en una sesión de HIIT permiten un mayor tiempo de estancia en o cerca de VO_2 max, aprovechando la respuesta más rápida del VO_2 en cada inicio de intervalo siguiente debido a: 1) aceleración de la cinética del VO_2 debido esencialmente a la activación enzimática y adecuación en la irrigación sanguínea de los músculos implicados; y 2) desarrollo del componente lento del VO_2 . (Figura 49)

Aunque trabajando con duraciones inferiores también se puede alcanzar el VO_2 max en los siguientes intervalos por los mismos motivos fisiológicos, el tiempo efectivo de cada intervalo se reducirá significativamente lo que obligará a realizar un mayor número de intervalos. (Figura 49)



¿COMO FIJAR EL TIEMPO IDÓNEO DEL INTERVALO?

➤ Una opción es utilizar el tiempo necesario para alcanzar el VO_2 max y sumar entre 1 y 2 min. Con ello nos aseguramos un tiempo suficiente en o cerca de VO_2 max desde el primer intervalo. Esta opción es muy individualizada y se basa en datos fisiológicos valorados directamente, pero tiene la dificultad de tener que medir mediante analizador de gases los tiempos de la cinética de VO_2 en intervalos simulados. El tiempo idóneo extra que se añade más allá del momento en que se alcanza el VO_2 max (1-2 minutos), no está establecido, no se puede fijar de hecho, porque depende de la respuesta individual, del perfil del atleta y del estado de forma (adaptaciones) del deportista (Figura 50)



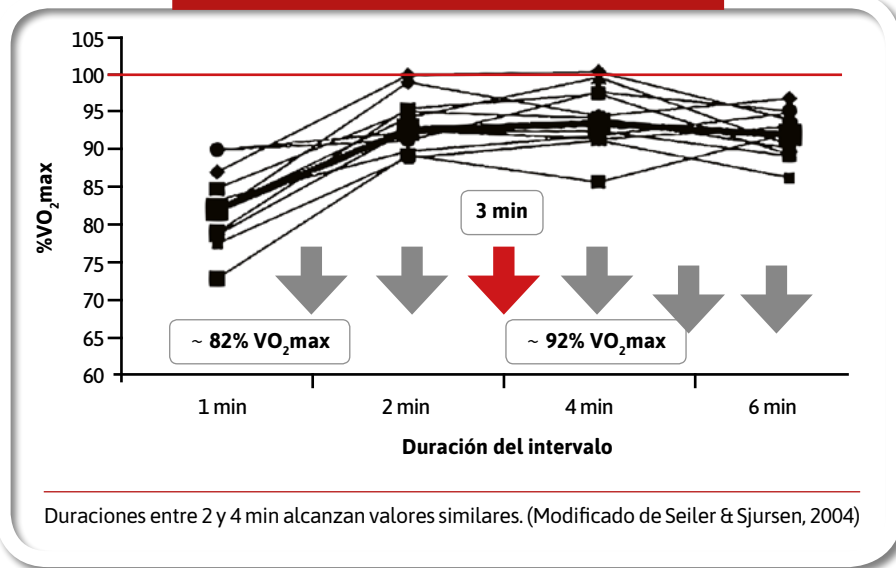
➤ Una segunda opción es fijar una duración del 50-70% del tiempo hasta el agotamiento en v/p VO_2 max, que suele estar entre los 4 y 8 min, dependiendo del nivel del deportista. Así, para un sujeto que soporte 6 minutos hasta el agotamiento a su VAM, la duración de los intervalos se fijaría entre los 3' y los 4'12". El entrenador deberá decidir en cada momento el grado de estrés fisiológico adecuado a cada momento de la temporada. (Figura 51)

➤ **La última opción**, la más práctica y directa, es fijar la duración de los intervalos en 3 minutos. Diferentes investigaciones avalan que entre 2 y 4 min diferentes sujetos eran capaces de mantener niveles muy cercanos al $VO_2\max$. Duraciones más breves o más prolongadas se asocian invariablemente a menores valores de $\%VO_2\max$, alcanzados (Figura 52).

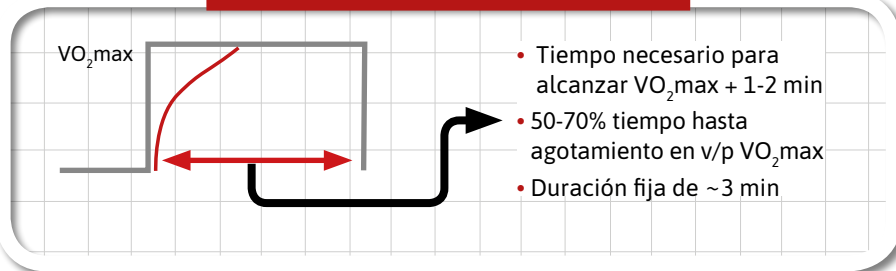
La figura 53 resumen las distintas metodologías propuestas.

«La opción más práctica y directa es fijar la duración de los intervalos en 3 minutos»

→Figura 52. $\%VO_2\max$ alcanzado durante intervalos en una sesión de HIIT de diferentes duraciones.



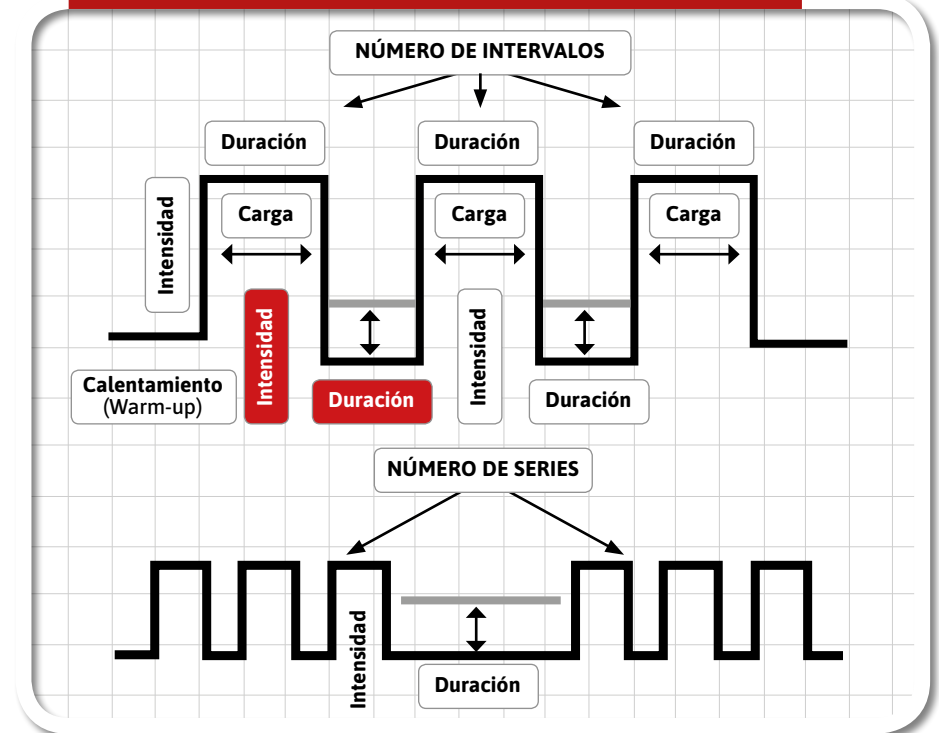
→Figura 53. Resumen de las distintas propuestas para determinar la duración de los intervalos en HIIT



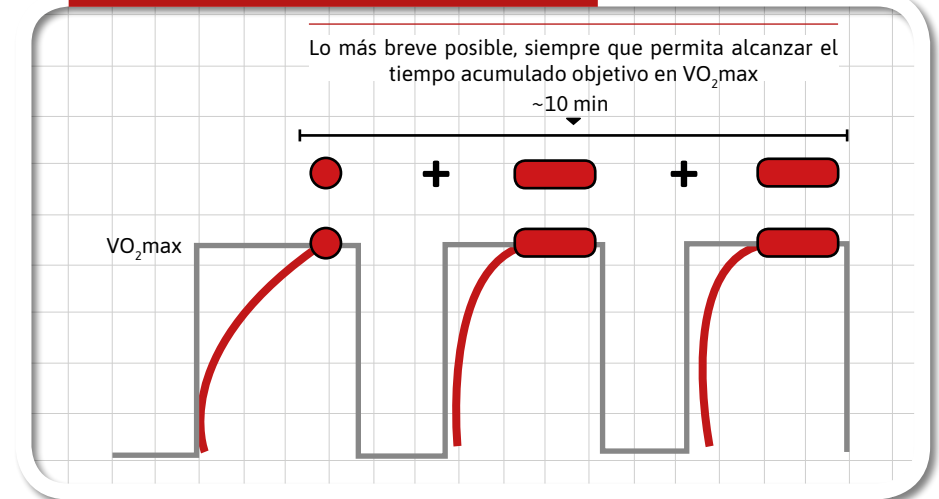
INTENSIDAD Y DURACIÓN DE LA RECUPERACIÓN (Figura 54)

Sin duda, fijar la intensidad y la duración de la recuperación entre intervalos es lo más complicado del diseño de una sesión de HIIT.

→Figura 54. Intensidad y duración de los intervalos en una sesión de HIIT



→Figura 55. Tiempo de recuperación entre intervalos



«El tiempo de recuperación entre intervalos ha de ser lo más breve y lo más intenso que sea posible siempre que permita alcanzar el tiempo objetivo en o cerca de $VO_2\text{max}$ antes del agotamiento»

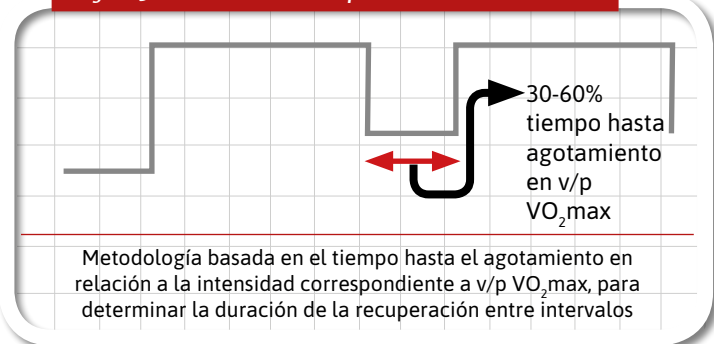
Como concepto inicial que ha de presidir cualquier toma de decisión, es que el tiempo de recuperación entre intervalos ha de ser lo más breve y lo más intenso que sea posible siempre que permita alcanzar el tiempo objetivo en o cerca de $VO_2\text{max}$ antes del agotamiento. (Figura 55). La intensidad y la duración de la recuperación entre intervalos deben decidirse teniendo en cuenta:

- 1** Si se pretende maximizar la capacidad de trabajo durante los siguientes intervalos (incrementando el flujo de sangre para acelerar la recuperación metabólica muscular (resíntesis de PCr, buffering H^+ , regulación Pi y transporte de K^+ , oxidación de lactato muscular..), entonces deberíamos seleccionar una recuperación pasiva (caminar se considera pasivo). Una duración <2 minutos sería adecuada, para un intervalo estándar de 3 min.
- 2** Si se pretende mantener un nivel mínimo de VO_2 para reducir el tiempo necesario para alcanzar el $VO_2\text{max}$ en el siguiente intervalo, entonces la recuperación debería ser activa. La intensidad idónea sería la correspondiente a la del umbral láctico (o en su lugar una intensidad aproximada al 50% v/p $VO_2\text{max}$).

En este caso, el tiempo de recuperación estaría en función de la duración del intervalo, aunque por norma general y a efectos del diseño inicial de una sesión de HIIT, se puede comenzar con una proporción 1:1.

Otra opción para fijar el tiempo de recuperación es aplicar entre un 30% y un 60% del tiempo hasta el agotamiento en VAM/PAM. (Figura 56)

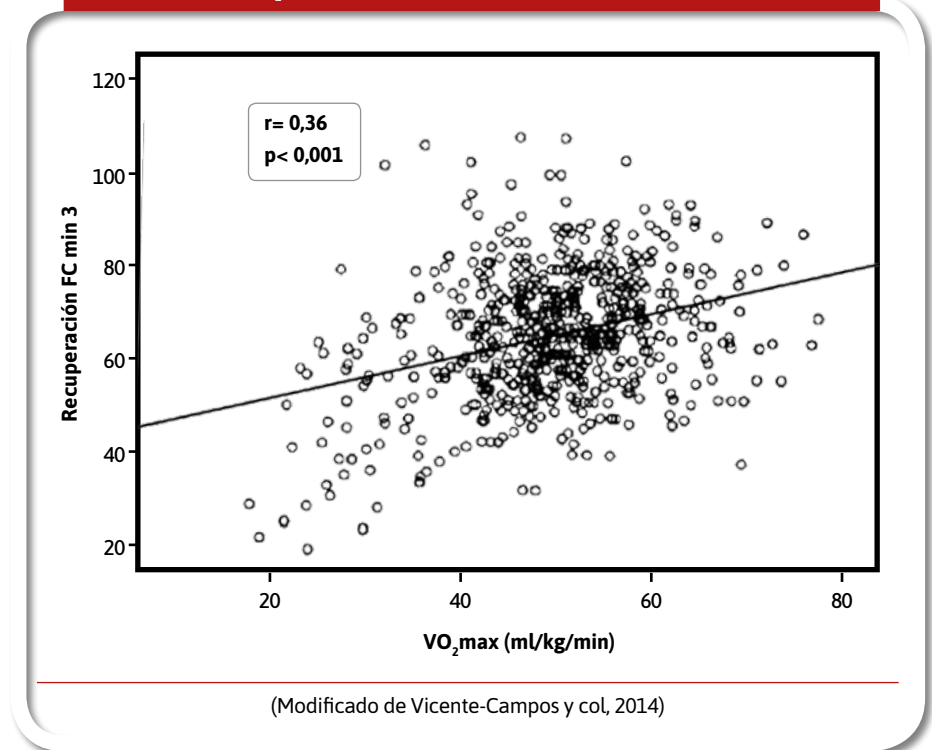
→Figura 56. Duración de la recuperación entre intervalos



Como alternativas a la hora de fijar la duración de la recuperación entre intervalos, una vez establecida la intensidad correspondiente al umbral láctico (~50% VAM/PAM), se podrían utilizar la frecuencia cardiaca (FC) o la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE).

En el primer caso, la FC no es buen indicador de recuperación en HIIT, al no estar necesariamente relacionada con la demanda sistémica de oxígeno, ni con el intercambio energético muscular, ya que depende de la magnitud de la recuperación del comando central y de la estimulación de mecanorreceptores. Además, la recuperación de la frecuencia cardiaca está sujeta a gran variabilidad interindividual, que está muy influenciada por el estado de entrenamiento y por la potencia aeróbica máxima. (Figura 57)

→Figura 57. Correlación entre la recuperación de la frecuencia cardiaca en el minuto 3 post ejercicio y el $VO_2\text{max}$ tras una prueba de esfuerzo de carácter máximo.



«La intensidad idónea en recuperación activa entre intervalos es la correspondiente a la del umbral láctico (o en su lugar una intensidad del 50% v/p $VO_2\text{max}$)»

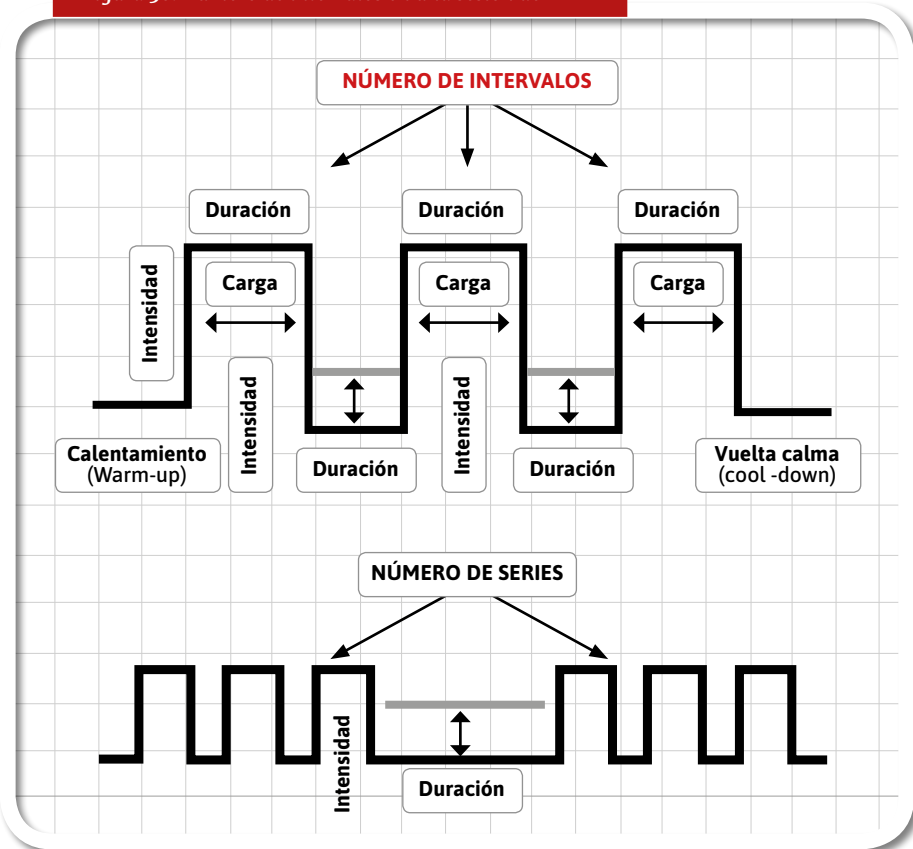
«La FC no es buen indicador de recuperación en HIIT»

No hay referencias absolutas de recuperación de la frecuencia cardiaca válidas para aplicar a una población que desarrolle HIIT. La mítica cifra de 120 lpm como referencia absoluta para salir en el siguiente intervalo no es válida, formando parte de la leyenda fisiológica.

No obstante, es posible que un entrenador en el conocimiento que le otorga el control del entrenamiento aplicado individualmente pudiera conseguir una referencia de recuperación de la frecuencia cardiaca válida solo para un deportista determinado.

La otra alternativa para controlar la recuperación es la RPE, aunque esta solo sería potencialmente de utilidad para atletas de muy alto nivel competitivo y extensa experiencia.

→Figura 58. Número de intervalos en una sesión de HIIT



NÚMERO DE INTERVALOS (Figura 58)

No están protocolizados el número de intervalos idóneos para acumular el máximo tiempo en VO_{2max} , siendo en parte dependiente de la intensidad del ejercicio, del estado de entrenamiento del sujeto y del momento de la temporada.

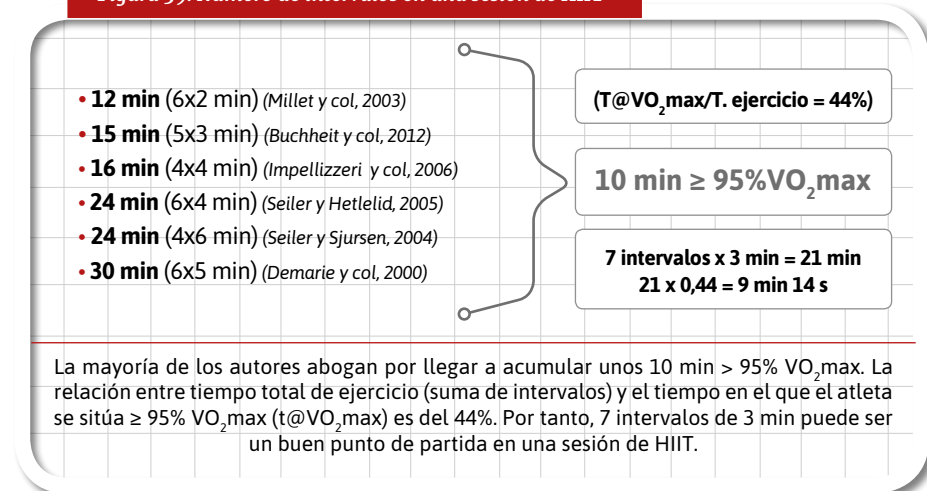
La mayoría de los autores abogan por llegar a acumular unos 10 min $\geq 95\% VO_{2max}$, lo que se puede tomar como punto de partida en el diseño inicial de una sesión de HIIT. (Figura 59)

Diferentes estudios han comprobado aplicando diferentes protocolos de HIIT que la relación entre el tiempo total de ejercicio y el tiempo en el que se alcanza el objetivo del 90-95% VO_{2max} ($t@VO_{2max}$), es de aproximadamente un 44%.

Por tanto, si se aplican intervalos de 3 min de duración, el número de repeticiones debería estar entre 6 (tiempo total: 18 min, $t@VO_{2max}$ = 8 min ($18 \times 0,44$)) y 8 (tiempo total: 24 min, $t@VO_{2max}$ = 10,5 min ($24 \times 0,44$)).

Así pues, como punto de partida podríamos fijar en 7 los intervalos en una sesión ideal de HIIT, siempre que se respeten las condiciones de intensidad y duración anteriormente enumeradas (7 intervalos de 3 min = 21 min de ejercicio = $\sim 9'14'' t@VO_{2max}$) (Figura 59)

→Figura 59. Número de intervalos en una sesión de HIIT



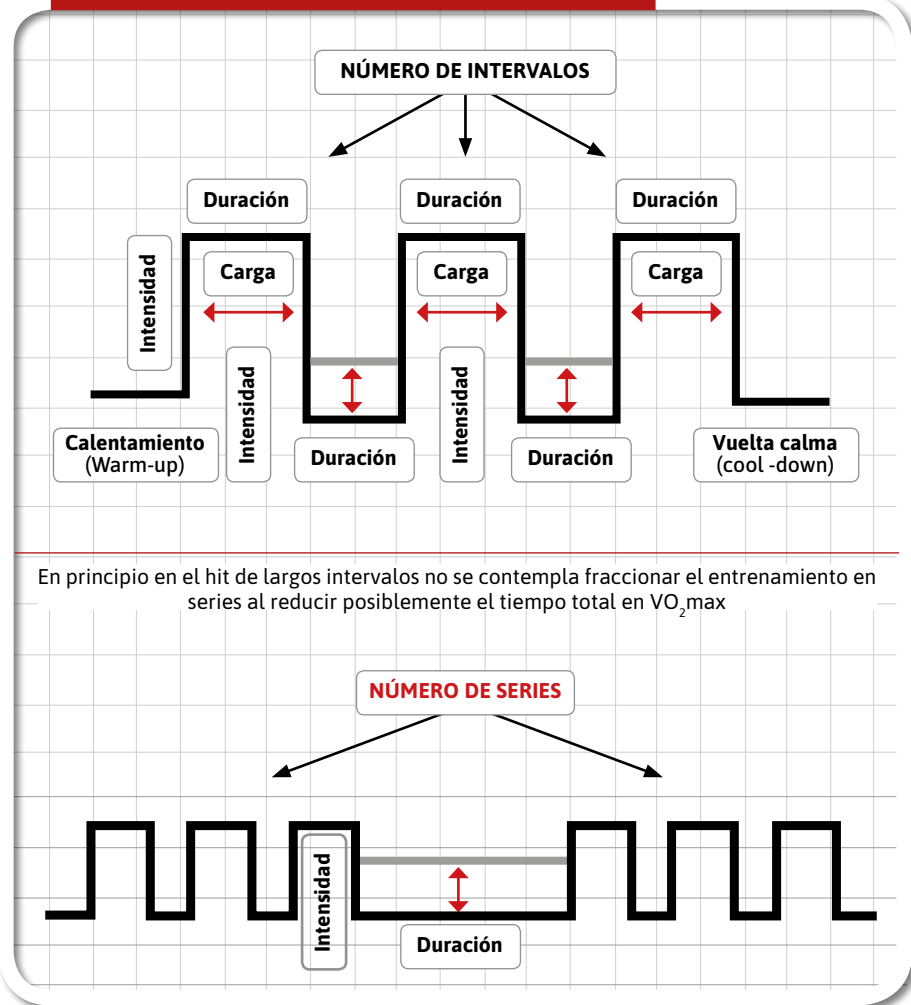
«Como punto de partida podríamos fijar en 7 los intervalos en una sesión ideal de HIIT»

«La mayoría de los autores abogan por llegar a acumular unos 10 min \geq 95% VO_{2max} »

NÚMERO DE SERIES (Figura 60)

Con protocolos de 3-4 min, no necesario estructurar la sesión de HIIT con series, pudiendo trabajar solo con 1 serie de intervalos. Si se utilizan protocolos más cortos, entonces la sesión se podría estructurar con un número determinado de series, como veremos a continuación cuando nos refiramos a los intervalos cortos ó HIIT de corta duración.

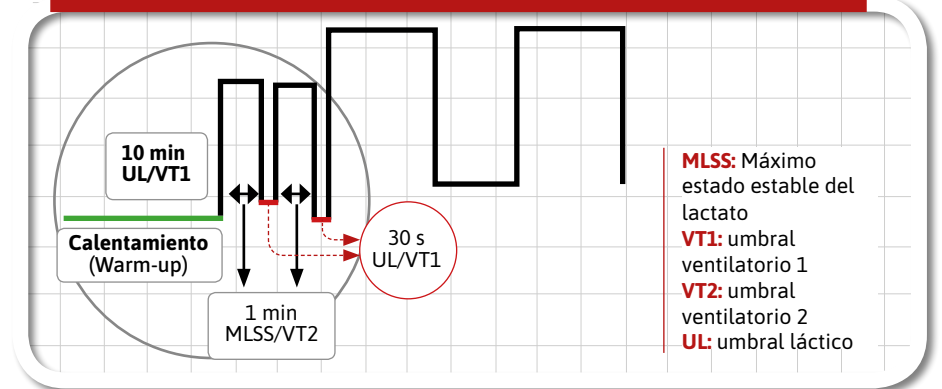
→Figura 60. Número de series en una sesión de HIIT largo



Calentamiento (warm-up) de una sesión de HIIT

El calentamiento es una de las variables que se han de controlar en una sesión de HIIT con el fin de hacer más eficaz el entrenamiento. Después de unos 10 min de ejercicio a intensidad umbral láctico, lo recomendado es la realización de 2 intervalos de 1 min a intensidad segundo umbral (VT_2 /MLSS) con 30 s de recuperación activa (umbral láctico/ VT_1). Finalizado el 2º intervalo del calentamiento y después de los 30 s de recuperación correspondiente, comenzaría el HIIT. (figura 61)

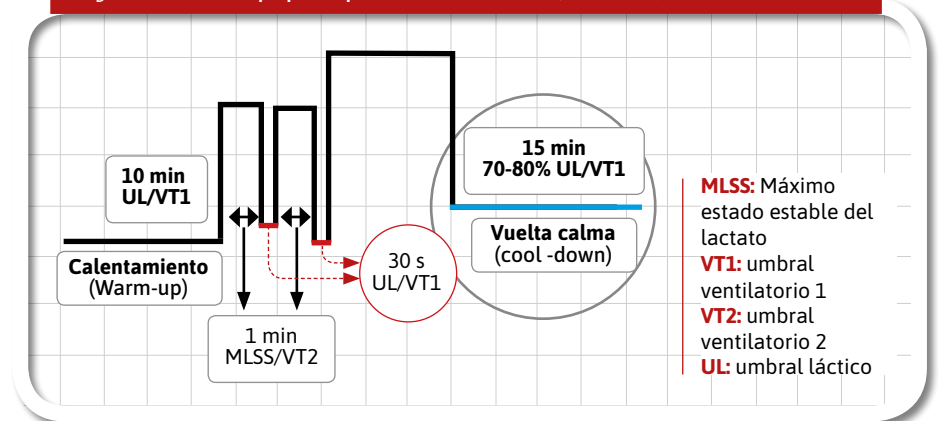
→Figura 61. Estructura propuesta para calentamiento (warm-up) de una sesión de HIIT



Vuelta a la calma (cool-down) de una sesión de HIIT

La vuelta a la calma de una sesión de HIIT debería contemplar unos 15 min de ejercicio continuo a baja intensidad (70-80% umbral láctico/ VT_1). (figura 62)

→Figura 62. Estructura propuesta para la vuelta a la calma (cool-down) de una sesión de HIIT



HIIT de corta duración

Consideramos HIIT de corta duración, cuando los intervalos que se aplican son menores de 2 minutos, siendo los más frecuentes entre 30 s y 60 s.

La intensidad del intervalo será del 100-110% v/pVO₂max, con mayor preferencia a superar la VAM. Hay que tener en cuenta no obstante que aumentar la intensidad de ejercicio más allá de la VAM/PAM se asocia a: mayor contribución anaeróbica y mayor sobrecarga neuromuscular, por lo que habrá que valorar los beneficios reales que se obtiene.

Los intervalos más cortos dificultan llegar a valores de VO₂ cercanos a VO₂max en cada intervalo (Figura 63), por lo que para cumplir el tiempo objetivo “en o muy cerca” del VO₂max se necesitará un mayor número de intervalos como luego veremos.

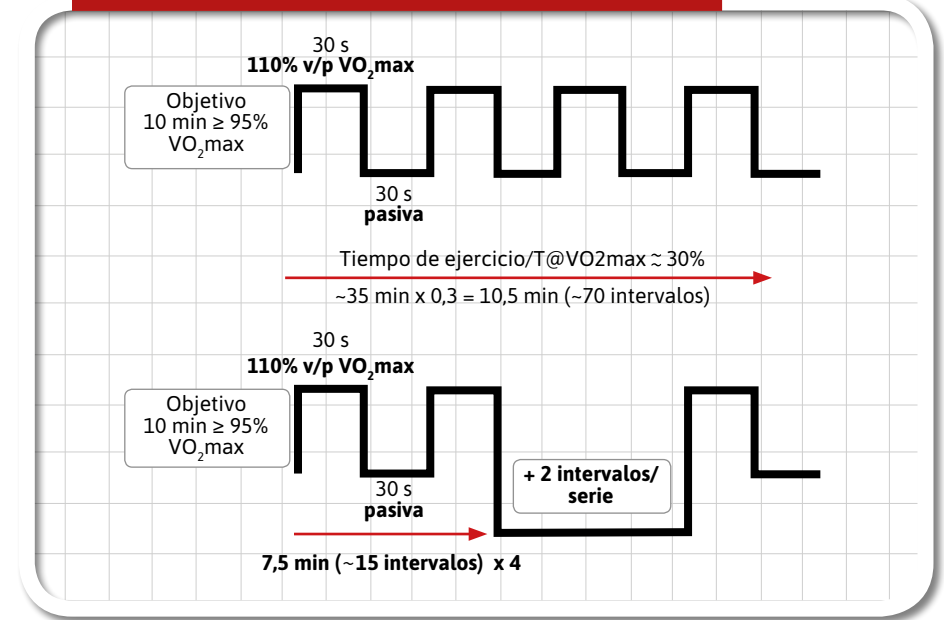
«HIIT de corta duración: intervalos menores de 2 minutos, siendo los más frecuentes entre 30 s y 60 s»

Un protocolo muy utilizado en el HIIT de corta duración es el que aplica intervalos de 30 s a intensidad correspondiente al 100-110% VAM/PAM. Este protocolo suele aplicarse fuera del ámbito de rendimiento, generalmente en el ámbito de la salud y el fitness. La recuperación debería ser activa (umbral láctico/primer umbral ó 50% VAM/PAM) con una duración de 30 s, aunque en la práctica la recuperación suele ser pasiva. Para intervalos más largos se mantiene la recomendación de una relación trabajo:recuperación de 1:1.

La relación entre el tiempo de ejercicio en un intervalo de 30 s al 110% VAM/PAM y el tiempo “en o muy cerca” del VO₂max ($\geq 90-95$ VO₂max) es inferior a los intervalos de 3 min, habiendo estimado una relación del 30%. Así, para conseguir llegar al objetivo inicialmente fijado de una sesión de HIIT de permanencia “en o muy cerca” del VO₂max de ~10 min, deberíamos programar unos 35 min de intervalos, o lo que es lo mismo, 70 intervalos de 30 s. (Figura 63)

El calentamiento y la vuelta a la calma se estructurarán como anteriormente hemos comentado.

→Figura 63. Estructura general de una sesión de HIIT corto (30 s)



HIIT en pendiente positiva

En principio, el HIIT no es un entrenamiento idóneo para realizar con pendiente positiva, especialmente en carrera. La principal razón es la fatiga muscular que puede acontecer en esas condiciones y que llevaría a no poder alcanzar el suficiente estrés cardiocirculatorio, pulmonar y metabólico que sitúe al sujeto en el objetivo principal de esta modalidad de entrenamiento, esto es, estar un tiempo suficiente “en o muy cerca” del VO₂max.

Se ha calculado la relación entre t@VO₂max/tiempo de ejercicio para sesiones de HIIT en carrera con un 4-5% de pendiente, habiendo obtenido valores del 27%, muy lejos del 44% obtenidos en sesiones de HIIT al 0% de pendiente, lo que refuerza el concepto de alejamiento de la pendiente positiva en el HIIT.

Recuperación entre sesiones de HIIT

La recuperación entre sesiones de entrenamiento, especialmente de aquellas de gran exigencia fisiológica como es el HIIT, es uno de los elementos clave en el proceso del entrenamiento.

Al mismo tiempo, la recuperación entre sesiones de ejercicio es uno de los apartados de la fisiología del ejercicio más complicados de manejar, al ser dependiente de numerosos factores condicionantes y determinantes.

Por consiguiente, la recuperación idónea va a depender de distintos factores difíciles de controlar, como son la edad (más edad, más tiempo de recuperación) y el estado de entrenamiento (mejor entrenado, mejor recuperación).

En ausencia de una medida “patrón oro” sobre la recuperación metabólica y neuromuscular después de una sesión de HIIT, debemos disponer de test o medidas que nos puedan indicar el índice de recuperación de nuestro deportista. En este sentido, la variabilidad de la frecuencia cardiaca (HRR) se muestra como la alternativa más adecuada.

En general, podemos decir que la recuperación de una sesión de HIIT para deportistas entrenados puede ser completa en 48 h, lo que llevaría a un rango de tiempo recomendado de 72 h entre sesiones HIIT (ej. Lunes, jueves, domingo...). En la práctica, y dado que el entrenamiento deportivo ha de contemplar otras modalidades de entrenamiento, algunas de ellas de gran exigencia fisiológica (metabólica y/o neuromuscular), lo habitual es programar 1 sesión de HIIT por microciclo (semana).

Como veremos en capítulos posteriores, cuando el perfil fisiológico del HIIT desciende en cuanto a intensidad, duración, etc., entonces la recuperación requerirá menos tiempo, y esas sesiones de HIIT podrán administrarse más a menudo, aunque ya no estaremos hablando de la aplicación de un HIIT genuino ó auténtico.

Lo recomendado es programar 1 sesión de HIIT por microciclo (semana)

➔ **Ajuste individualizado del HIIT**

Todo a lo que nos hemos referido en los aspectos metodológicos del HIIT han tenido el objetivo de ayudar a diseñar una sesión de HIIT eficaz fisiológicamente como punto de partida. A partir de aquí (Figura 64), el entrenador deberá ir dando forma individualizada a la sesión de HIIT aplicada a cada deportista en función de sus características

→Figura 64. Características principales de la estructura de una sesión de HIIT largo y corto para optimizar T@VO₂max.

Modalidad	HIIT largo	HIIT corto
Duración (min)	3 min	30 s
Intensidad (vVO ₂ max)	100% VAM/PAM	110% VAM/PAM
Duración recup (min)	3 min	30 s
Tipo recup	Activa	Activa(*)
Intev y series	7	4 x (15)**
Duración entre series		2 min (pasiva)
Intensidad entre intervalos	50% UL	50% UL(*)
T@VO ₂ max	10 min	10 min
Demanda central	****	***
Demanda periférica	**	**
(*) en la práctica suele ser pasiva	(**) aumentando 2 intervalos en las series 2ª (n=17), 3ª (n=19) y 4ª (n=21)	

individuales. Ese proceso de adaptación del patrón general de HIIT a un HIIT individualizado puede llevar unas 3-4 sesiones de entrenamiento HIIT. En ese proceso de “afinamiento” o precisión individualizada el entrenador deberá fijar inicialmente 4 variables: 1) duración del intervalo; 2) intensidad del intervalo; 3) número de intervalos; y 4) intensidad de la recuperación. A partir de ahí, con la aplicación del modelo general, el entrenador deberá valorar si 3 min de duración entre intervalos es el tiempo idóneo para ese deportista. Así, si con ese tiempo prefijado de recuperación no llega a completar los 7 intervalos, se deberá aumentar el tiempo de recuperación. Si por el contrario, el deportista manifiesta una vez realizada la 7ª repetición o intervalo, que podría realizar alguna más, entonces quizás se debería acortar el tiempo de recuperación. En el fondo el entrenador lo que busca es un modelo que cumpla el concepto aplicado en fuerza de “7RM”, en este caso, denominado 7 repeticiones o intervalos máximos.

➔ **Progresión del HIIT**

La progresión del HIIT no está protocolizada, por lo que cada entrenador ha de ir conjugando el aumento del estrés fisiológico respecto a las adaptaciones obtenidas de manera individualizada.

Cada una de las variables que componen una sesión de HIIT es susceptible de modificarse en la progresión del HIIT, pero vamos a tratar de ordenar esa progresión en la medida de lo posible (Figura 65).

La modificación de la estructura de la sesión de HIIT debería revisarse cada 4-6 semanas. Lógicamente según avance el proceso del entrenamiento y progresen las adaptaciones la progresión será más complicada.

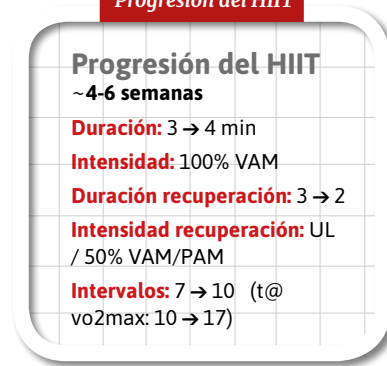
Aunque en términos relativos la intensidad del intervalo y la de la recuperación deberían mantenerse (100% VAM/PAM y 50% VAM/PAM o umbral láctico/VT1, respectivamente), sus valores absolutos tenderán a la mejora, por lo que se hará necesario valorarlos antes de modificar el resto de las variables, con el fin de tener bien ajustada la intensidad relativa, que es el elemento más importante en la estructura de un HIIT.

A partir de aquí, no hay una propuesta metodológica de progresión de estrés fisiológico del HIIT que pueda considerarse como “patrón oro”, y por tanto, queda en la decisión del entrenador como organizar dicha progresión.

Proponemos en todo caso un diseño de progresión que como hemos apuntado no persigue ser la mejor, ni la más eficaz, pero que tiene soporte científico suficiente:

- 1** La primera variable que debe ser modificada es el tiempo del intervalo, que pasaría progresivamente desde los 3 min iniciales a los 4 min, como tiempo máximo de intervalo. Esa progresión se puede hacer sumando periodos adicionales de 15 ó 20 s.
- 2** Una vez alcanzada la duración máxima del intervalo (4 min), aumentaríamos progresivamente el número de intervalos de la sesión, pasando de los 7 iniciales a los 10 objetivo, lo que nos llevaría a un $t@VO_{2max}$ de unos 17 min 30 s.
- 3** Finalmente, y como elemento último de progresión, trataríamos de acortar la duración de la recuperación de los 3 min iniciales a los 2 min objetivo, siendo probablemente esta modificación la más complicada de conseguir.

→Figura 65.
Progresión del HIIT



En este punto, tendríamos una sesión de HIIT evolucionada, que ya solo cambiaría por a) los cambios absolutos de velocidad/potencia asociados a la VAM/PAM o umbral láctico/VT1; ó b) por la frecuencia de aplicación en los microciclos correspondientes, aunque este elemento es muy sensible, si no lo controlamos, en desembocar en un estado de sobreentrenamiento.

Llegados a esta plenitud del HIIT, se hará imprescindible el control de la recuperación del proceso global del entrenamiento para evitar una incapacidad de adaptación que pueda desembocar en un cuadro de sobreentrenamiento.

«No hay una propuesta metodológica de progresión de estrés fisiológico del HIIT que pueda considerarse como “patrón oro”»



Respuestas y adaptaciones fisiológicas al **HIIT**



La variación de cualquier factor de los que determinan la estructura de una sesión de HIIT va a tener sus consecuencias en las respuestas al ejercicio, tanto desde un punto de vista cardiopulmonar, como metabólico o neuromuscular, y por tanto en las adaptaciones asociadas. (Figura 66). Los estudios de fisiología y adaptación al entrenamiento nos muestran: (Figura 67)

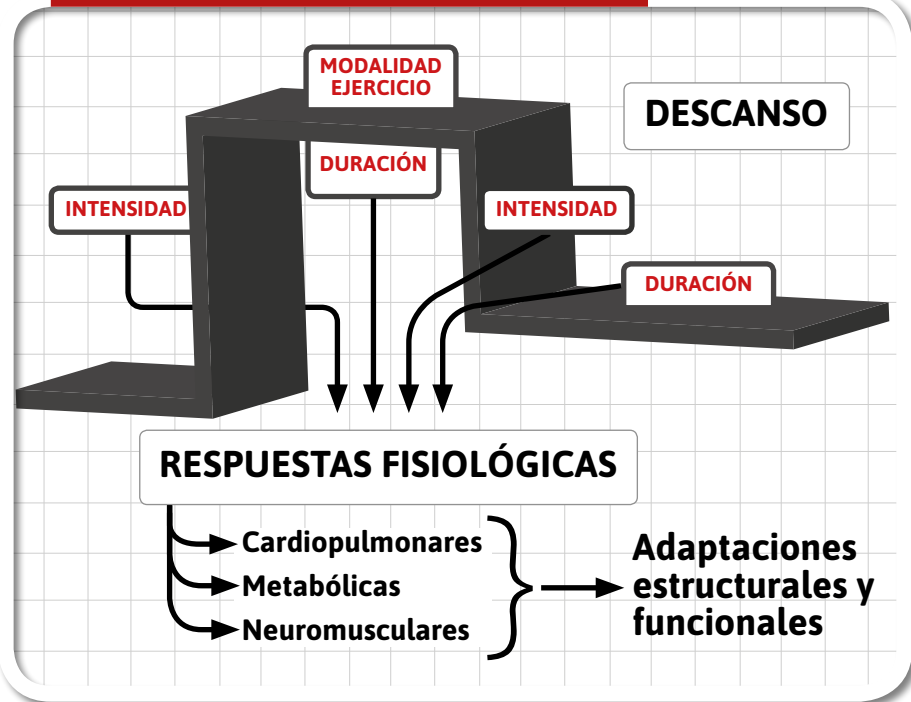
- 1** Que son los ejercicios de elevada intensidad (> máximo estado estable del lactato/VT2 ó Fase III) los que se asocian a las mayores mejoras en el $VO_2\text{max}$ (Potencia aeróbica máxima).
- 2** Que son los ejercicios de intensidad moderada (Fase I - Fase II) los que mejoran la capacidad de sostener intensidades altas de ejercicio durante un tiempo prolongado (Capacidad aeróbica máxima).

Diferentes estudios han mostrado claramente que el ejercicio interválico de alta intensidad aplicado entre 4 y 8 semanas mejora los valores de $VO_2\text{max}$ entre un 4 y un 15% en sujetos no entrenados y también en personas físicamente activas (Sloth y col, 2013)

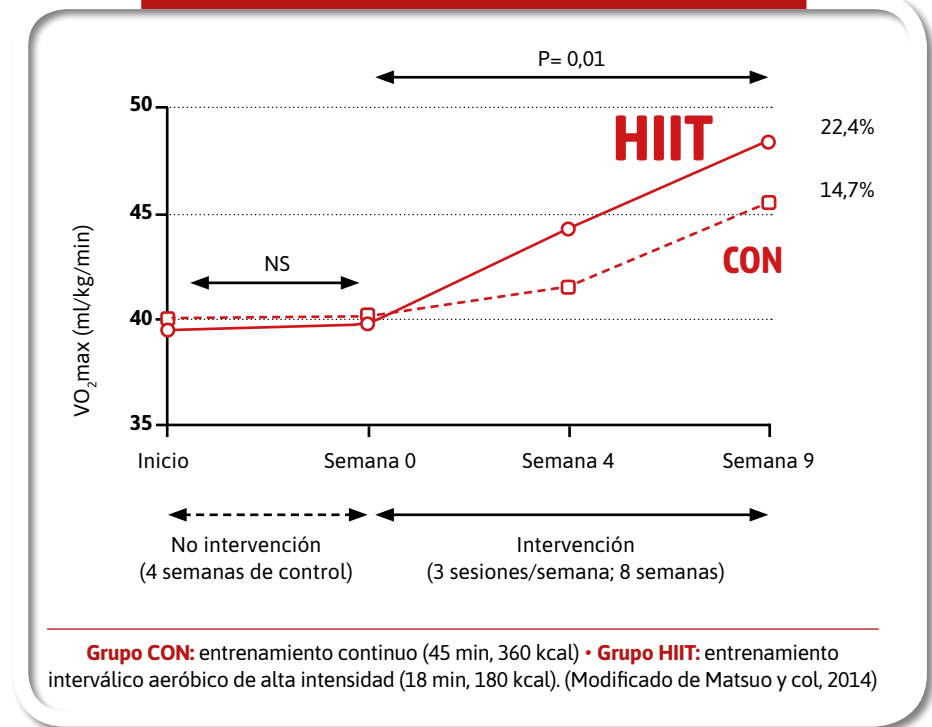
Otros estudios han mostrado como el entrenamiento interválico de alta intensidad mejoraba el $VO_2\text{max}$ en mayor cuantía que el entrenamiento continuo en un periodo de entrenamiento de 8 semanas invirtiendo menos tiempo en cada sesión de ejercicio (18 min vs 45 min, para entrenamiento interválico y continuo, respectivamente) (Figura 68). Por otra parte, metaanálisis recientes (Milanovic y col, 2015) demostraron que en personas sanas, jóvenes o de edad media, el HIIT mejoró más el $VO_2\text{max}$ que el entrenamiento continuo tradicional.

«Conocer las respuestas fisiológicas asociadas a la aplicación del HIIT es imprescindible si lo que queremos es saber las adaptaciones asociadas a esta modalidad de entrenamiento y por extensión su repercusión en el rendimiento»

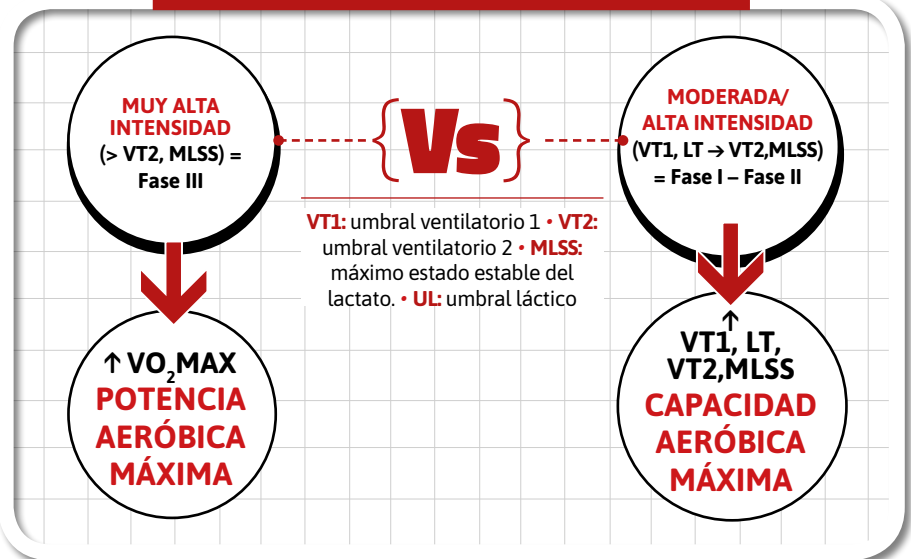
→Figura 66. Variación de las respuestas fisiológicas al HIIT en función de cambios en las variables de su estructura



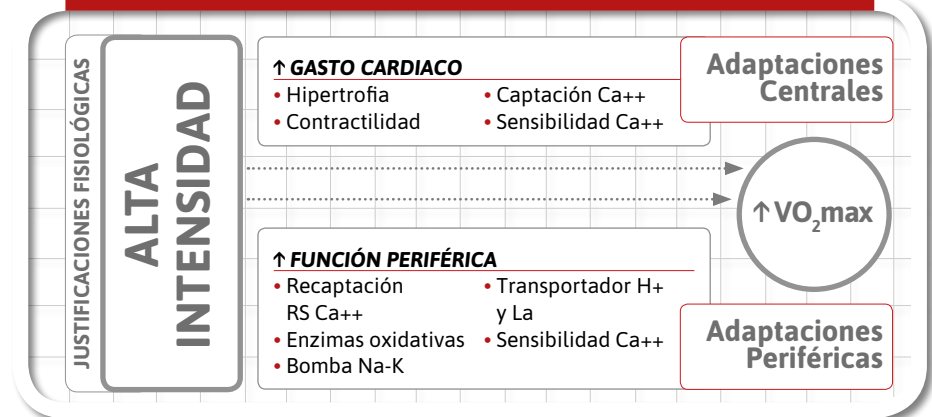
→Figura 68. Cambios en el VO₂ max con entrenamiento continuo vs interválico de alta intensidad tras 8 semanas de entrenamiento



→Figura 67. Influencia de la intensidad de ejercicio en las mejoras de la potencia aeróbica y capacidad aeróbica máximas.



→Figura 69. Adaptaciones centrales y periféricas más relevantes asociadas al HIIT



No obstante, es claro (especialmente en deportistas de alto nivel) que el ascenso del $VO_2\text{max}$ tiene un techo, por lo que una vez alcanzado ese límite fisiológico individual las mejoras del rendimiento con la aplicación del HIIT se vincularán más en el progreso de la velocidad o potencia asociada al $VO_2\text{max}$ (VAM/PAM).

En relación con las justificaciones fisiológicas de mejoras del $VO_2\text{max}$, estas se pueden argumentar en adaptaciones centrales y periféricas. (Figura 69).

ADAPTACIONES CENTRALES

La adaptación central más importante en la conexión HIIT/ $VO_2\text{max}$, es el aumento del gasto cardiaco ($VO_2\text{max} = \text{gasto cardiaco} \times \text{dif A-}VO_2$), es decir, la capacidad de mejora en la función sistólica y/o diastólica del corazón.

Las adaptaciones celulares cardiacas que justifican el mayor rendimiento del corazón (\uparrow gasto cardiaco) son: hipertrofia de las células musculares miocárdicas, mejora de la capacidad contráctil, mejora en la captación-recaptación de Ca^{++} en el retículo sarcoplásmico y aumento de la sensibilidad de los cardiomiocitos al Ca^{++} .

ADAPTACIONES PERIFÉRICAS

Probablemente la principal adaptación periférica asociada al HIIT sea el aumento de la actividad metabólica mitocondrial, asociada esencialmente a mejoras en todo el proceso de captación-recaptación de Ca^{++} en retículo sarcoplásmico, que constituye uno de los elementos clave asociados a la fatiga periférica en ejercicios de muy alta intensidad.

Otras adaptaciones descritas relacionadas con el HIIT son: mejora de la actividad de enzimas oxidativas, expresión de las bombas Na-K, y los transportadores de lactato y H^+ . Además, el HIIT ha mostrado sus efectos beneficiosos sobre la función endotelial.

Estas adaptaciones parece que también ocurren en las fibras musculares más glucolíticas (IIX) que al ser sometidas a contracción durante periodos relativamente largos logran conseguir adaptaciones “oxidativas” que finalmente contribuirán a la mejora del $VO_2\text{max}$.

«La adaptación más importante que el entrenador busca al aplicar un entrenamiento HIIT es la mejora del $VO_2\text{max}$ »

«Al aplicar HIIT las fibras IIX logran conseguir adaptaciones “oxidativas” que finalmente contribuirán a la mejora del $VO_2\text{max}$ »

En este sentido, algunas investigaciones han constatado que de la aplicación del HIIT podría derivarse un descenso de la actividad glucolítica de las fibras musculares IIX, e incluso una disminución de su presencia porcentual en el paquete muscular vinculado a la aplicación de HIIT (Figura 70). Esta es una adaptación muy favorable para los deportistas de resistencia aeróbica, pero probablemente no deseada para los atletas en los que el rendimiento se basa en gran parte en la actividad glucolítica de sus músculos y/o en la potencia/fuerza muscular. Así pues, los beneficios fisiológicos derivados de la aplicación del HIIT puede que no sean universales, y quizás incluso pueda cuestionarse su aplicación en algunas disciplinas deportivas.

→ Figura 70. Distribución de los diferentes tipos de cadenas pesadas de miosina (MyHC) y área transversal (CSA), antes y después de un entrenamiento convencional de HIIT (4x4 min).

	Pre	Post	
MyHC-1 (%)	56,22 ± 16,6	55,5 ± 12,7	Valores expresados como media y desviación estándar. (*): p<0,05
MyHC-2A (%)	31,40 ± 9,0	37,8 ± 8,8 (*)	
MyHC-2x (%)	12,40 ± 11,1	6,7 ± 6,7 (*)	
CSA MyHC-1 (µm²)	4567 ± 908	4439 ± 981	
CSA MyHC-2A (µm²)	5764 ± 1122	5317 ± 798 (*)	

«Los beneficios fisiológicos derivados de la aplicación del HIIT puede que no sean universales, y quizás incluso pueda cuestionarse su aplicación en algunas disciplinas deportivas»

SISTEMAS ENERGÉTICOS ASOCIADOS AL HIIT

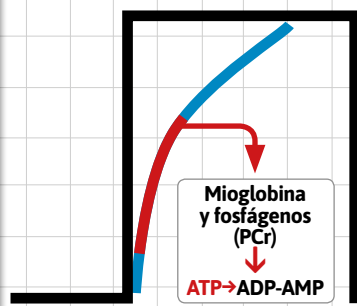
En la fase inicial del intervalo en una sesión de HIIT, la respiración y el transporte de oxígeno (activación cardiopulmonar y circulatoria) a los músculos activos no alcanza los valores requeridos que se corresponden con la demanda real de esa intensidad, debido a la cinética de respuesta del VO_2 , (Figura 71). Por lo tanto, durante los momentos iniciales de los intervalos en el HIIT, la síntesis de ATP necesaria para generar fuerza en los sarcómeros de los músculos implicados en el ejercicio desarrollado ha de realizarse en parte mediante reservas intracelulares de O_2 (mioglobina) y/o de los fosfágenos ricos en energía (fosfocreatina, PC; y ATP). Esas reservas de oximioglobina y fosfágenos se restaurarán durante la recuperación, a no ser que ésta sea demasiado corta o demasiado intensa. En este caso, la relación ATP:ADP-AMP, disminuirá, lo que ocasionará

la puesta en marcha de vías de señalización. Retomaremos este punto más adelante.

Por otra parte, no cabe duda de que la realización de HIIT se va a asociar a una elevada demanda de la glucólisis citosólica (“anaeróbica”), que va a tener como reflejo el aumento de las concentraciones de lactato en músculo y sangre, al tiempo que una tendencia a la instauración de acidosis. En la Fase III, que es donde se desarrolla el HIIT, la producción de lactato supera la capacidad de eliminación o aclaramiento, y por consiguiente su concentración aumentará (Figura 72).

Hemos de insistir no obstante en que estamos en una modalidad/intensidad de ejercicio con máxima expresión de la potencia aeróbica ($VO_{2,max}$) y por tanto, no estamos ante una intensidad de ejercicio específico de activación o dependencia de la glucólisis citosólica o anaeróbica. Por otra parte, solo recordar que la acidosis influye decisivamente en la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno, y por tanto solo se podrán alcanzar valores máximos de $VO_{2,max}$ cuando coexista una cierta acidosis.

→Figura 71. Sistemas energéticos durante los momentos iniciales de los intervalos en el HIIT

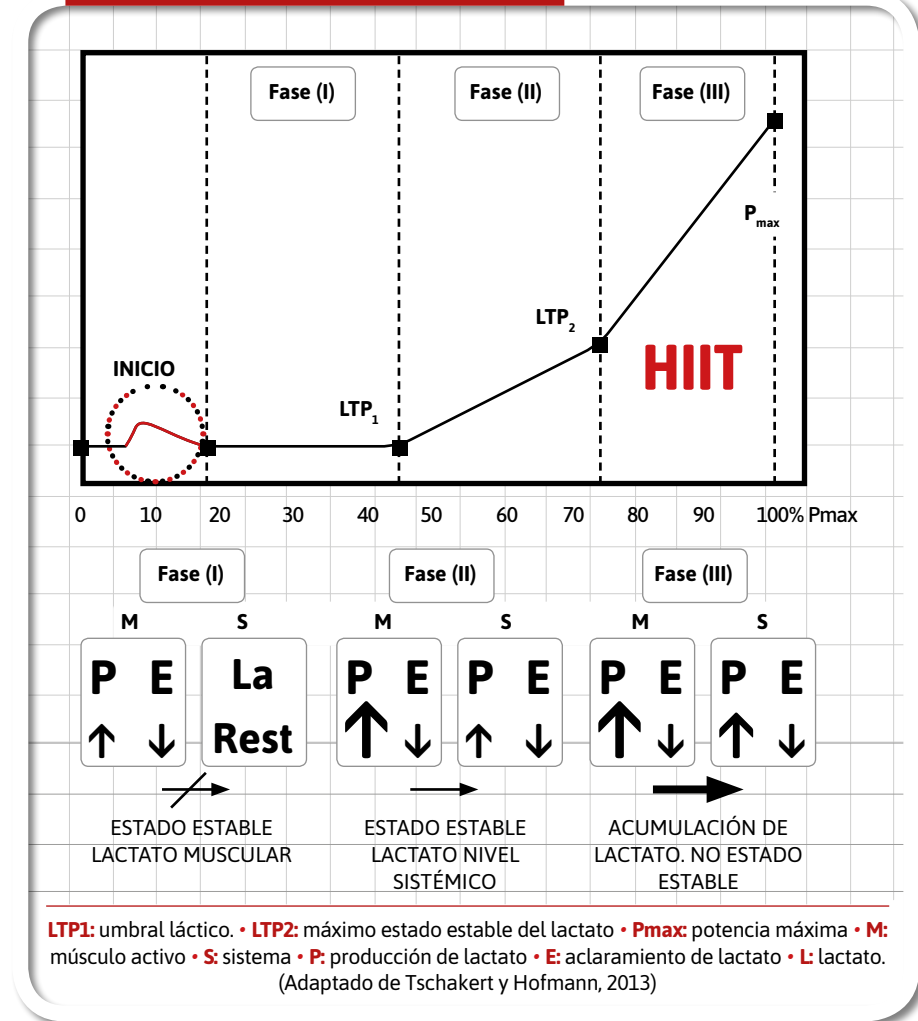


Durante los momentos iniciales de los intervalos en el HIIT, la síntesis de ATP necesaria implica de forma importante a las reservas intracelulares de O_2 (mioglobina) y/o de los fosfágenos ricos en energía (fosfocreatina, PC; y ATP)

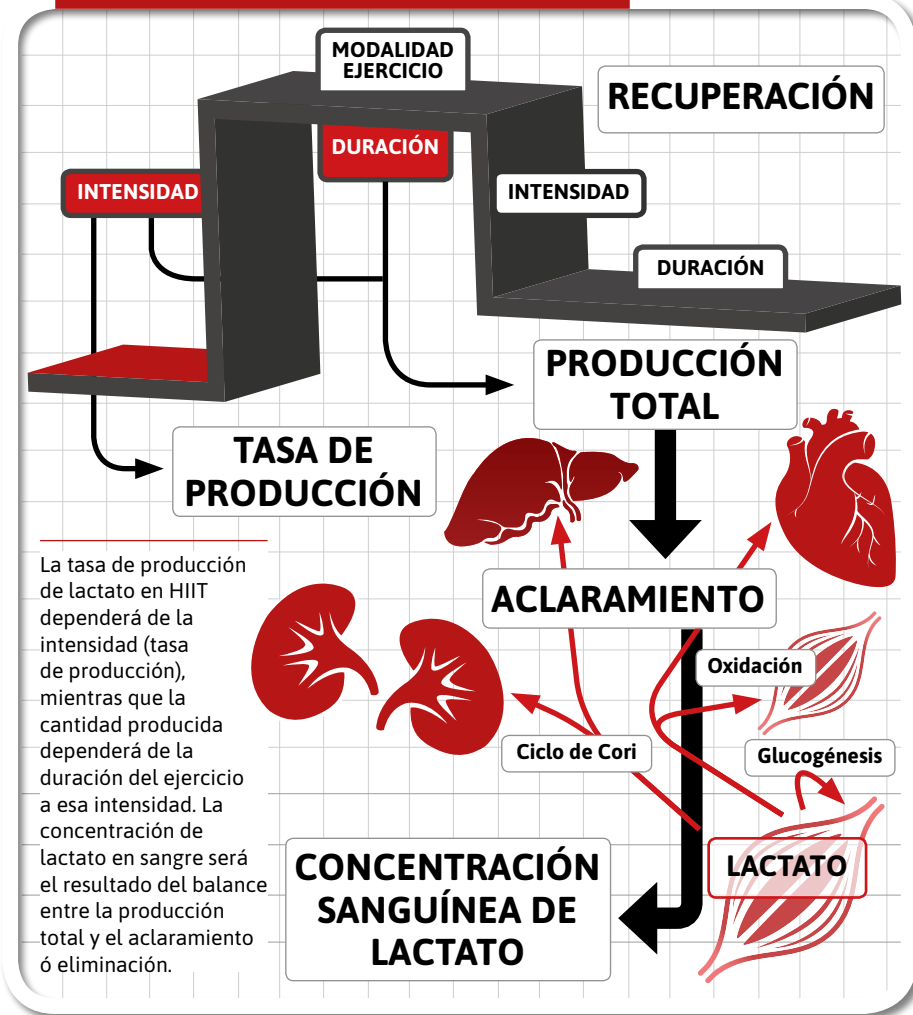
«En la Fase III, que es donde se desarrolla el HIIT, la producción de lactato supera la capacidad de eliminación o aclaramiento, y por consiguiente su concentración aumentará»

La tasa de producción de lactato en HIIT dependerá de la intensidad, mientras que la cantidad producida dependerá de la duración del ejercicio a esa intensidad (Intensidad x tiempo). Así pues, la concentración de lactato en sangre será el resultado del balance entre la producción total y el aclaramiento ó eliminación. (Figura 73)

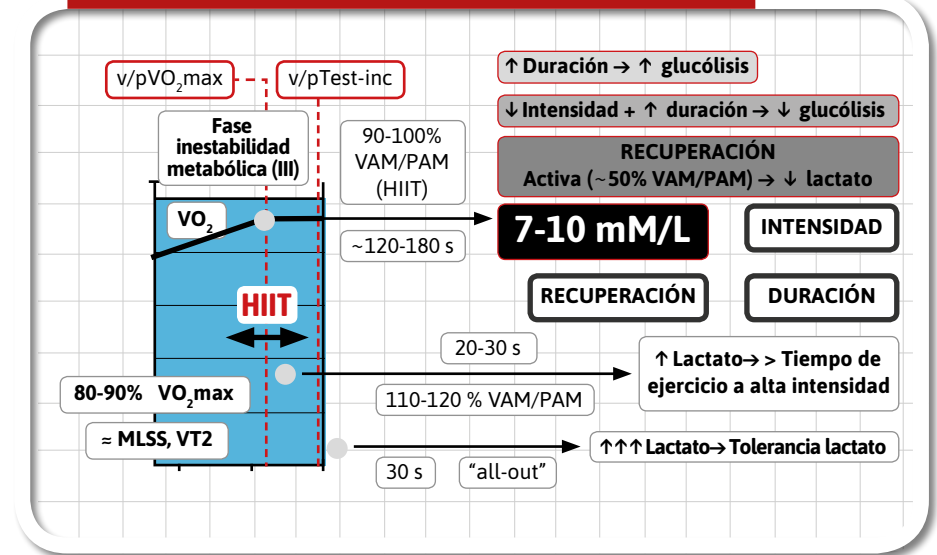
→Figura 72. Modelo trifásico del metabolismo del lactato en un test de ejercicio incremental.



→Figura 73. Concentración sanguínea de lactato en HIIT



→Figura 74. Respuestas en las concentraciones de lactato en sangre con el entrenamiento interválico de diferente intensidad y duración.



«El HIIT no es una modalidad de entrenamiento **vinculada específicamente a la mejora glucolítica**»

Por otra parte, acortar la recuperación se asocia a una mayor contribución glucolítica debido al aumento de carga (mayor carga de ejercicio en menos tiempo), así, una recuperación activa (50% VAM/PAM) acelera el aclaramiento de lactato, en comparación con la recuperación pasiva.

INTERVALOS DE CORTA DURACIÓN (HIIT CORTO)

Los intervalos de corta duración (30 s) se asocian a niveles de lactato más bajos, debido a que durante la fase inicial del ejercicio el oxígeno liberado de la mioglobina y los fosfágenos acumulados en la célula muscular son los que soportan los requerimientos de oxígeno para el ejercicio, antes de que el sistema glucolítico alcance un alto nivel de activación (Figura 71). En este contexto, los primeros 10-12 s de ejercicio serán soportados energéticamente por el sistema de los fosfágenos, con una contribución mixta oxidativa y glucolítica para los restantes 18-20 s del intervalo. Ello hace que el sistema glucolítico no pueda desarrollar totalmente su potencial energético por 2 motivos: 1) por la propia intensidad del

«Un HIIT con intervalo corto (30 s) a intensidad VAM/PAM, puede prolongarse durante 30 min antes del agotamiento»

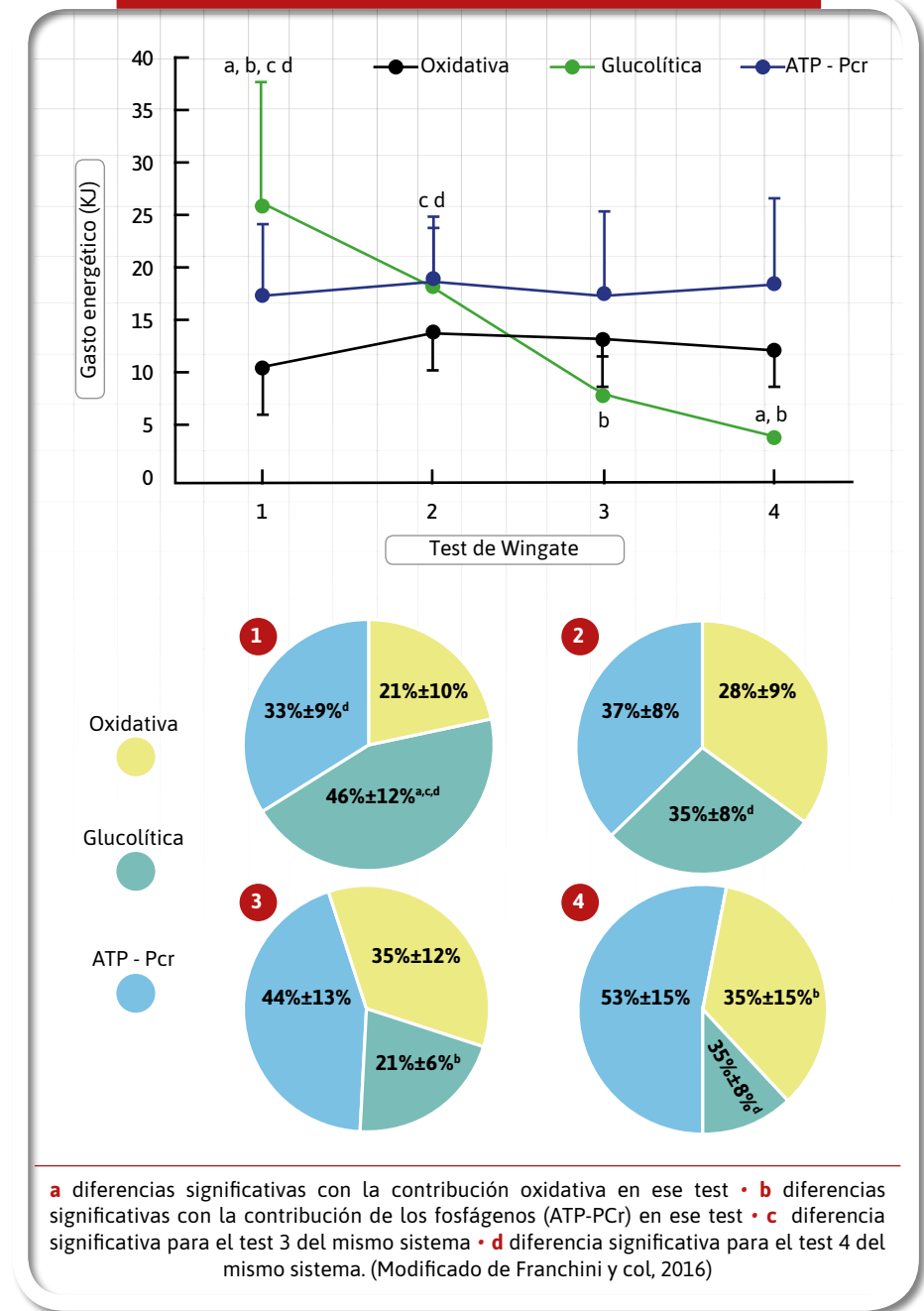
ejercicio (100% VAM/PAM); y 2) por el cese del ejercicio a los 30 s. Por lo tanto, periodos cortos de ejercicio permiten alcanzar un estado estable de lactato, incluso si la intensidad es superior al MLSS, como es el caso del HIIT corto. El lactato se producirá en pequeñas cantidades y una corta recuperación es suficiente para alcanzar un balance entre la producción y el aclaramiento. Esto significa que la duración de las fases de trabajo es un factor más crítico, sobre si el lactato se acumulará o no, que la duración de las fases de la recuperación.

La ventaja de un protocolo con estado estable de lactato es que el ejercicio podrá ser sostenido por un largo periodo de tiempo, dando como resultado mayor tiempo de entrenamiento a altas intensidades, en comparación con ejercicios que no logran estado estable. Así, un intervalo corto (30 s) a intensidad VAM/PAM, puede prolongarse durante 30 min antes del agotamiento.

INTERVALOS A INTENSIDAD SUPRA-MÁXIMA

Los entrenamientos interválicos a intensidad supra-máxima (SIT) escapan del concepto del HIIT, situándose en la consecución de objetivos prioritarios diferentes. El protocolo más utilizado es el de 30 s de máxima intensidad (all-out) (ej. Test Wingate) con periodos de recuperación de 3 min, habitualmente pasiva. En este tipo de ejercicio, los niveles de lactato en sangre se pueden elevar por encima de los 15 mM/L constituyendo sistemas de entrenamiento con objetivos dirigidos a la potenciación del sistema glucolítico y a la mejora de la tolerancia de la acidosis (Figura 74). No obstante, cuando una intensidad all-out sostenida 30 s, se aplica de manera interválica (ej. 4 x 30 s all-out) los sistemas energéticos van modificando su protagonismo de intervalo a intervalo debido a la fatiga muscular acumulada, llevando finalmente a una contribución significativa del sistema aeróbico u oxidativo. (Figura 75). En cualquier caso, debe quedar claro que esta modalidad de entrenamiento interválico no está dirigida específicamente a la mejora del VO₂max o velocidad o potencia asociada al VO₂max.

→Figura 75. Contribución absoluta (a) y relativa (b) de los sistemas energéticos durante la realización de 4 test de Wingate consecutivos.



«Los entrenamientos interválicos a intensidad supra-máxima (SIT) no están dirigidos específicamente a la mejora del VO₂max o velocidad o potencia asociada al VO₂max»

JUSTIFICACIONES DEL HIIT BAJO EL PRISMA DE LA BIOLOGÍA MOLECULAR

El HIIT constituye una modalidad de ejercicio que, en base a su elevada intensidad se asocia a una elevada activación de la AMPK (proteína quinasa activada por AMP) y de p38 MAPK (proteína quinasa p38 activada por mitógenos). Ambas vías de señalización están directamente implicadas en la fosforilación y activación de la PGC-1 α (proteína 1 α coactivadora del receptor activado por el proliferador de peroxisomas). El PGC-1 α ha sido descrito como el interruptor clave para la biogénesis mitocondrial.

Un aumento nuclear de PGC-1 α asociado al HIIT se hipotetiza como un importante factor de transcripción para aumentar la acumulación de proteínas mitocondriales y con ello la biogénesis mitocondrial.

La activación de la PGC-1 α probablemente esté relacionada con los cambios en la relación ATP:ADP/AMP intramuscular asociado al HIIT, y la concomitante activación de la AMPK. Por otra parte, la activación de la p38 MAPK posiblemente via generación de radicales libres, pueda estar también implicada. (Figura 76).

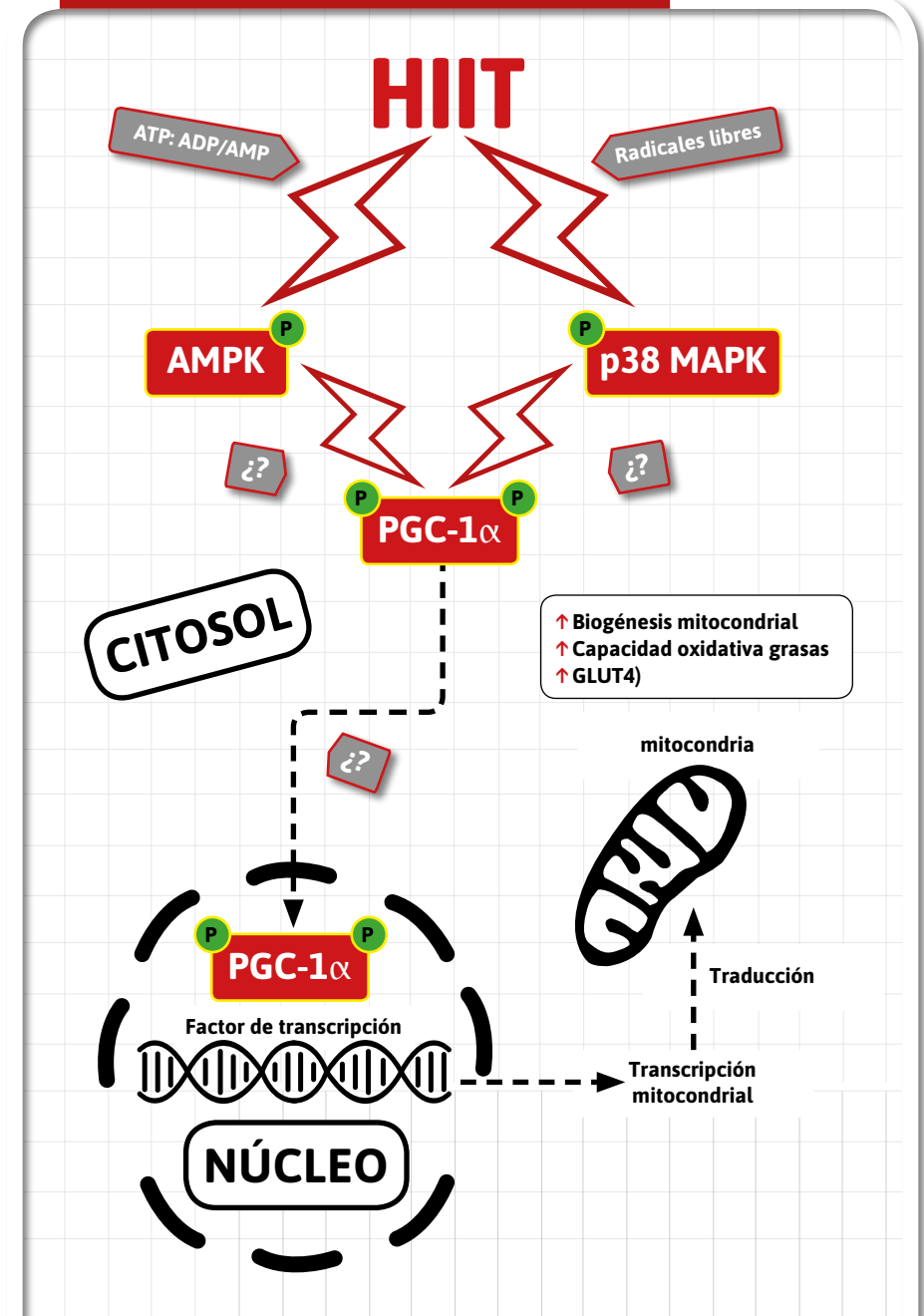
COMPLEJOS DE PROTEÍNAS CLAVE EN LAS VÍAS DE SEÑALIZACIÓN RELACIONADAS CON EL HIIT

La AMPK es un complejo de 3 proteínas compuesta por una subunidad catalítica alfa y dos subunidades reguladoras beta y gamma. La activación de la AMPK depende de la unión de AMP a sitios específicos de la subunidad gamma de la quinasa. Por lo tanto, la AMPK es altamente sensible a los cambios en la concentración de AMP dentro de la célula muscular. Cuando los niveles del ratio ATP:AMP varían como es en el caso del HIIT, la AMPK los detecta respondiendo rápidamente con un gran cambio de su actividad. Es por esto, que se considera a la AMPK como un sensor del estado energético de la célula.

El PGC-1 α es una proteína capaz de trasladarse al núcleo para actuar como coactivador transcripcional que regula los genes implicados en el metabolismo energético. Esta proteína, está codificada por el gen PPARGC1A. La función primaria de PGC-1 α es estimular la biogénesis mitocondrial y el metabolismo oxidativo. Esta molécula puede unirse a ciertos factores de transcripción encargados de la expresión de proteínas mitocondriales aumentando su actividad y facilitando esta fase molecular.

La p38 MAPK, es una subfamilia de proteína quinasa activada por mitógeno, que regula distintos procesos celulares, incluyendo los procesos de crecimiento celular, diferenciación celular y apoptosis.

→Figura 76. Vías de señalización molecular asociadas al HIIT



La activación de la PGC-1 α probablemente esté relacionada con los cambios en la relación ATP:ADP/AMP intramuscular asociado al HIIT, y la concomitante activación de la AMPK. Por otra parte, la activación de la p38 MAPK posiblemente via generación de radicales libres, pueda estar también implicada. **AMPK**: proteína quinasa activada por AMP • **P38 MAPK**: proteína quinasa p38 activada por mitógenos • **PGC-1 α** : proteína 1 α coactivadora del receptor activado por el proliferador de peroxisomas • **GLUT4**: proteína transportadora de glucosa regulada por la insulina. (Modificado de Gibala y col, 2012)

APLICACIÓN DE HIIT EN CONDICIONES ESPECIALES

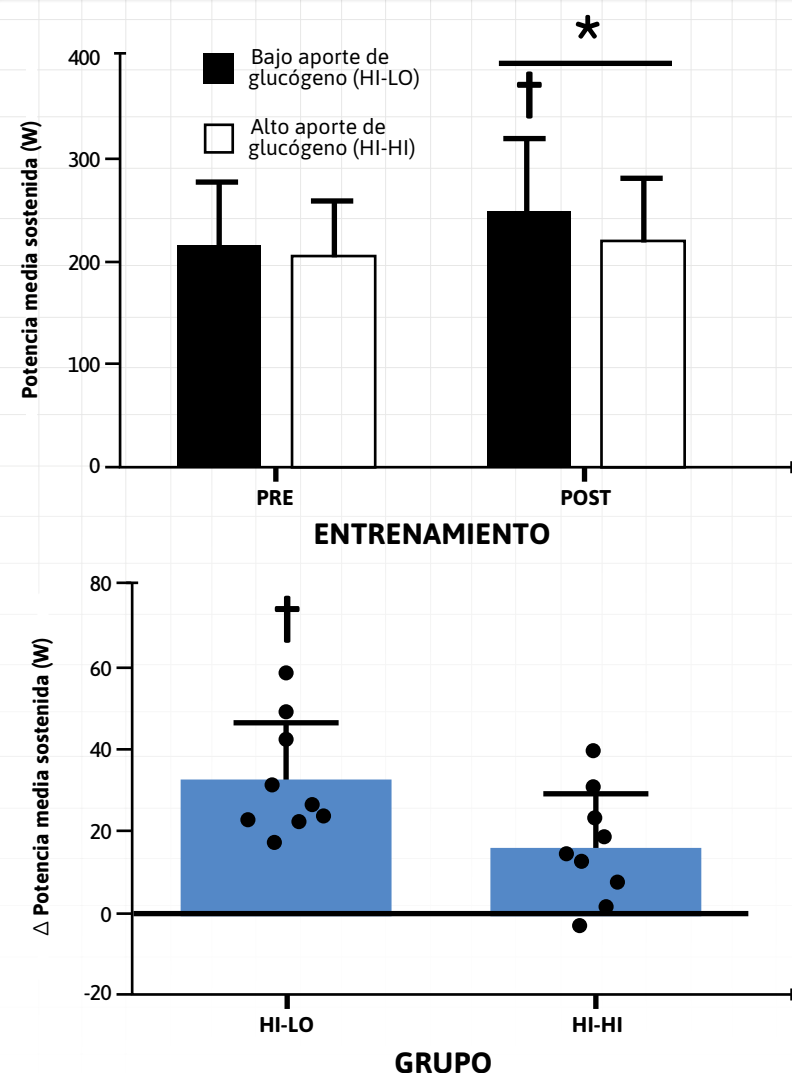
ENTRENAMIENTO CON BAJOS NIVELES DE GLUCÓGENO MUSCULAR

La realización de entrenamiento de resistencia aeróbica con bajas concentraciones de hidratos de carbono hepáticos y musculares ha mostrado su eficacia en diferentes adaptaciones metabólicas del músculo esquelético, aunque los efectos sobre el rendimiento parecen menos claros.

Hay que señalar que en la mayoría de los estudios que aplican HIIT en condiciones de depleción de glucógeno la estructura del entrenamiento no alcanza los requisitos para poder considerarse un HIIT genuino. Así, Cochran y col, 2015, publicaron los resultados de un estudio cuyo objetivo fue examinar las consecuencias de reducir la disponibilidad de hidratos de carbono (CHO) entre dos sesiones de HIIT sobre el rendimiento y el contenido mitocondrial. Sujetos activos ($VO_2\text{max}$: 44 ± 9 ml/kg/min) fueron distribuidos aleatoriamente en dos grupos, realizando 1 sesión de HIIT cada 6 días durante 2 semanas (5x4 min ciclismo 60%Wpico, con 2 min de recuperación). La sesión de HIIT fue doble con 3 h de intervalo entre sesiones. Un grupo ingirió 195 g CHO y el otro 17 g CHO, durante las 3 h de intervalo entre los entrenamientos. Los resultados mostraron que la mejora del rendimiento observada fue mayor en el grupo que ingirió menos CHO entre sesiones de entrenamiento, aunque el incremento del contenido mitocondrial y actividad enzimática fue similar. Este fue el primer estudio que mostró que un entrenamiento a corto plazo puede mejorar el rendimiento, y que esta mejora es superior si el HIIT se desarrolla en un entorno menos favorable de disponibilidad de hidratos de carbono. (Figura 77).

En otro estudio interesante (Hulston y col, 2010) los autores trataron de determinar los efectos del entrenamiento con bajos niveles de glucógeno muscular sobre el rendimiento, metabolismo de sustratos y adaptaciones musculares. Participaron ciclistas entrenados, distribuidos aleatoriamente en 2 grupos: bajos y altos niveles de glucógeno muscular. El entrenamiento consistió en 9 sesiones de 90 min al 70% $VO_2\text{max}$ + 9 sesiones HIIT 8x5 min, 3 semanas. El resultado más relevante fue que el grupo que entrenó con menos disponibilidad de glucógeno muscular mejoró después del periodo de entrenamiento la contribución energética de los triglicéridos musculares de manera significativa, en detrimento de una menor utilización del glucógeno muscular. No se observaron diferencias del rendimiento asociadas al protocolo. (Figura 78)

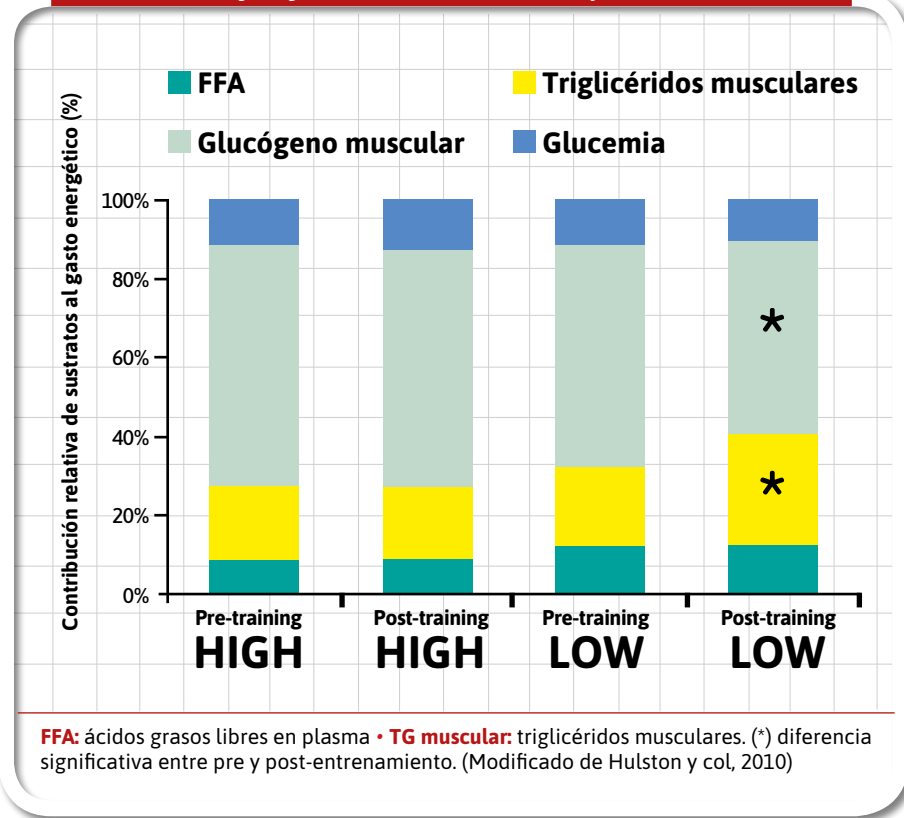
→Figura 77. Consecuencias de reducir la disponibilidad de hidratos de carbono (HI-LO) entre dos sesiones de HIIT sobre el rendimiento



HI-LO: baja disponibilidad de hidratos de carbono. **HI-HI:** alta disponibilidad de hidratos de carbono. Consecuencias de reducir la disponibilidad de hidratos de carbono (HI-LO) entre dos sesiones de HIIT sobre el rendimiento. (*) diferencia significativa entre grupos. (†) diferencia significativa pre-entrenamiento. (Adaptado de Cochran y col, 2015)

«La realización de HIIT con bajos niveles de glucógeno muscular parece modificar la contribución energética de los triglicéridos musculares durante el ejercicio»

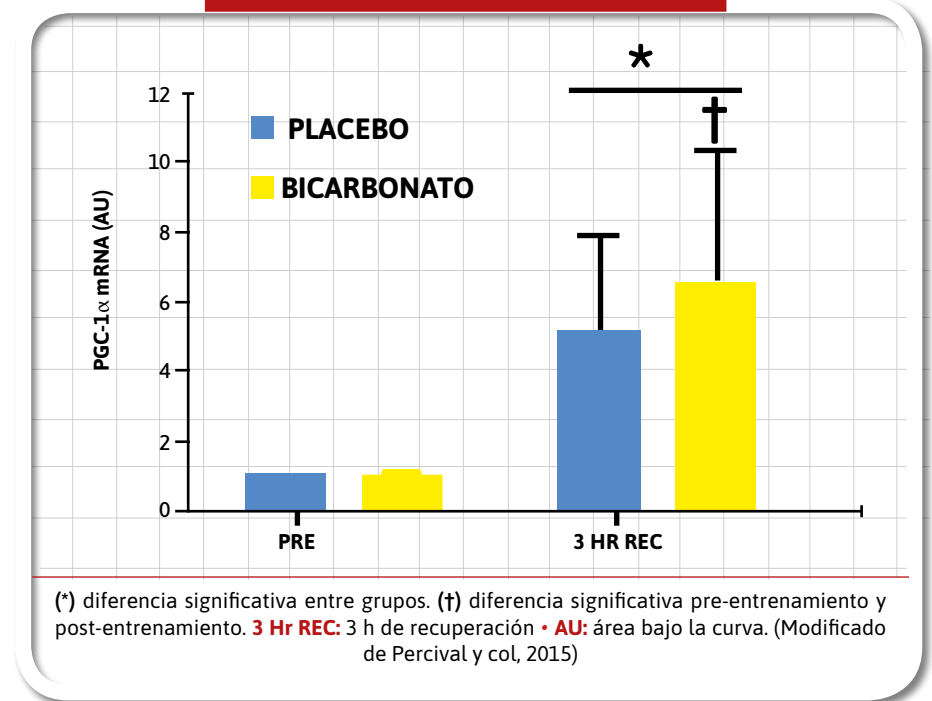
→Figura 78. Contribución relativa de sustratos con fines energéticos, durante un ejercicio de 30-60 min de duración, antes y después de entrenamiento con niveles de glucógeno muscular altos (HIGH) o bajos (LOW).



ENTRENAMIENTO BAJO LA ACCIÓN DE ALCALINIZANTES

Aunque el HIIT no es una modalidad de entrenamiento que se caracterice por una marcada acidosis, es indudable que se produce una elevada activación glucolítica citosólica que se asocia con bajos niveles de pH. En ese sentido, Percival y col, 2015 valoraron la hipótesis de que la ingesta de bicarbonato sódico antes de una sesión de entrenamiento HIIT podría provocar una mayor activación de la cascada de señalización y expresión génica de la biogénesis mitocondrial. Para ello distribuyeron a los voluntarios en dos grupos. Ambos realizaron una sesión de HIIT que consistió en 10x60 s al 90% FCmax, con un periodo de recuperación de 60 s. Mientras que un grupo ingirió 0,4 g/kg de bicarbonato sódico antes del entrenamiento, el otro grupo ingirió un placebo. Los resultados mostraron que la suplementación con bicarbonato pre-HIIT aumentó la expresión PGC-1 α en mayor medida que en el grupo placebo.(Figura 79)

→Figura 79. Efectos de la ingesta de bicarbonato en una sesión de HIIT sobre la expresión PGC-1 α .



FATIGA EN EL HIIT

La fatiga asociada al HIIT se vincula a mecanismos periféricos (alteraciones en la excitabilidad muscular, acoplamiento excitación-contracción, disturbio K⁺ intramuscular, acumulación de metabolitos (Pi, H⁺)), y mecanismos centrales.

MECANISMOS PERIFÉRICOS

➤ **Productos del metabolismo del ATP: NH₃.** Se ha sugerido como una de las causas de fatiga la acumulación de los productos de degradación del ATP, más que por la disminución de la concentración de ATP. Durante el HIIT, la velocidad de hidrólisis de ATP excede la capacidad de regeneración del mismo. En consecuencia, se acumula ADP y se activa la reacción que cataliza la enzima adenilato quinasa (AK) por

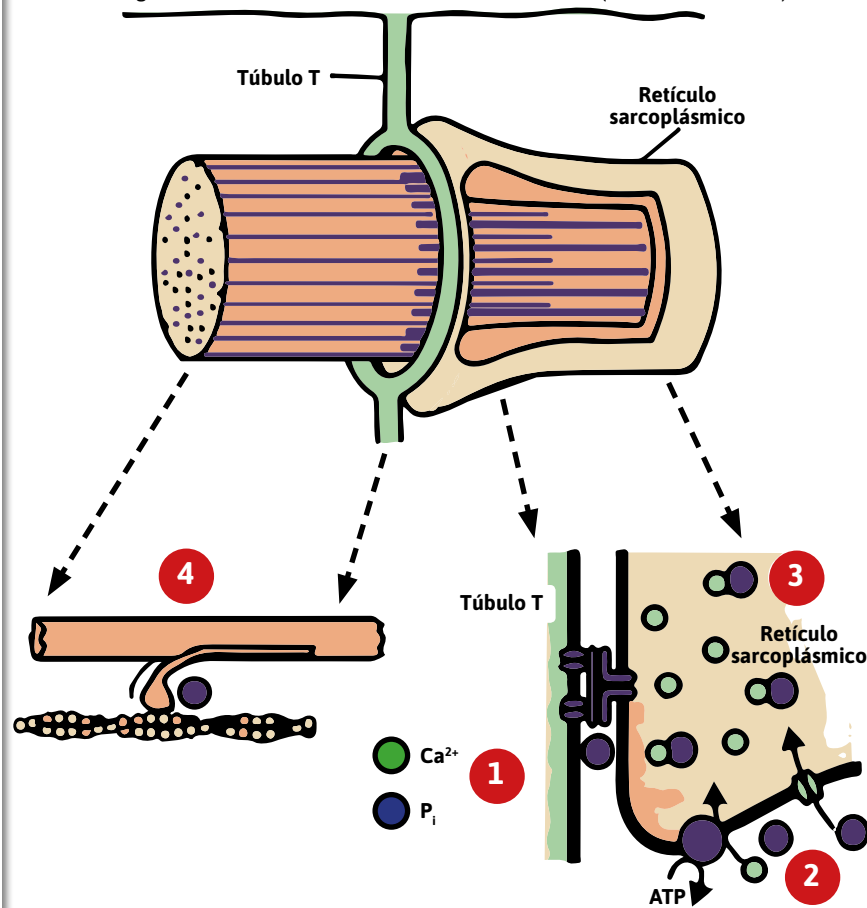
«La suplementación con bicarbonato pre-HIIT aumenta la expresión PGC-1 α »

y los de rianodina, entre otros. Recientemente se ha sugerido que la acumulación de H^+ + P_i pueden actuar sinérgicamente en la reducción de la fuerza muscular (Westerblad y col, 2002). (Figura 81)

→ Figura 81. Mecanismos por los que el P_i podría producir fatiga

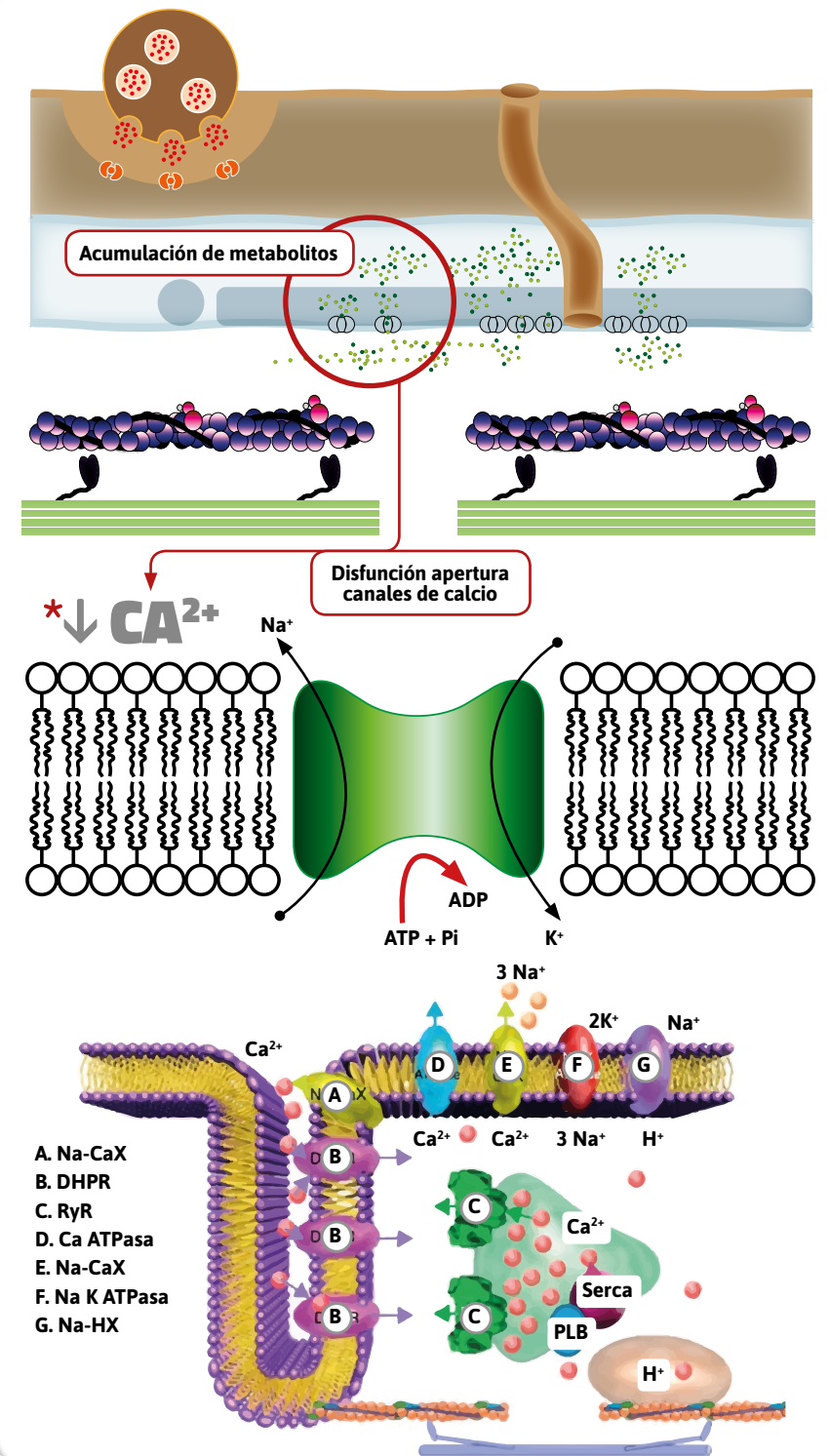
**ACUMULACIÓN DE METABOLITOS
FOSFATO INORGÁNICO (P_i)**

Recientemente se ha sugerido que la acumulación de H^+ + P_i pueden actuar sinérgicamente en la reducción de la fuerza muscular (Nelson & Fitt, 2014).



1 Alteración de los canales de rianodina del retículo sarcoplásmico, desacoplamiento entre los receptores de dihidropiridina y los de rianodina. 2 Inhibición de las ATPasas (miosina y bombas de calcio del retículo sarcoplásmico), 3 Parte de P_i inorgánico podría pasar al interior del RS precipitando con Ca^{2+} , disminuyendo la cantidad de Ca^{2+} disponible para la liberación. 4 El incremento en el P_i puede actuar directamente sobre las miofibrillas y disminuir la producción de fuerza de los puentes cruzados y la sensibilidad miofibrilar al Ca^{2+} . En definitiva mediante alteración del estado de los puentes cruzados actinomiocinicos. Modificado de Westerblad y col, 2002

→ Figura 82. Alteración en la liberación y/o recaptación de calcio del retículo sarcoplásmico



«La acumulación de H^+ + P_i pueden actuar sinérgicamente en la **reducción de la fuerza muscular**»

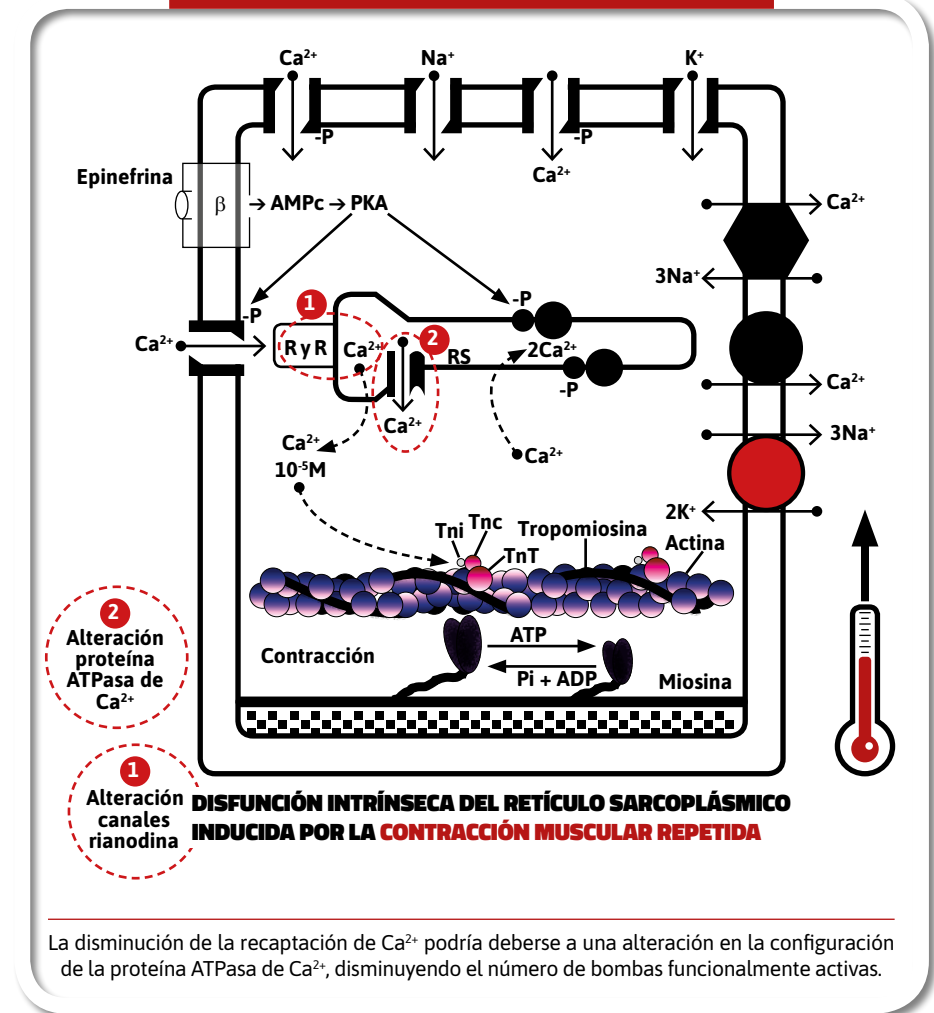
➤ **Interferencia en el acoplamiento excitación-contracción.** El grado de tensión muscular depende del número de puentes cruzados activos en un momento dado, que a su vez viene determinado por la $[Ca^{2+}]_i$. La $[Ca^{2+}]_i$ es regulada por el retículo sarcoplásmico que libera calcio al sarcoplasma durante la excitación y recapta calcio durante la relajación. Por lo tanto, la fatiga puede estar relacionada con alteraciones en el proceso de liberación y/o recaptación del calcio. La explicación más aceptada justifica la disminución de la $[Ca^{2+}]_i$ como debida a una falta de apertura de canales de calcio del retículo sarcoplásmico. La apertura de canales de calcio del retículo sarcoplásmico podría ser total o parcialmente inhibida ya sea por bloqueo de la propagación del potencial de acción a los túbulos transversos, o por una alteración del potencial de acción a nivel del sarcolema. Estos cambios en la forma del potencial de acción se han relacionado con modificaciones en la distribución de Ca^{2+} , K^+ y Na^+ a ambos lados del sarcolema, como consecuencia de la estimulación repetida. (Figura 82).

La disminución de la recaptación de Ca^{2+} , el segundo mecanismo más importante asociado a la fatiga durante la sesión de HIIT, podría deberse a una alteración en la configuración de la proteína ATPasa de Ca^{2+} , disminuyendo el número de bombas funcionalmente activas. (Figura 83)

Aunque se desconocen los mecanismos por los que la actividad muscular intensa asociada al HIIT puede producir cambios intrínsecos en las estructuras del retículo sarcoplásmico, se ha indicado que el aumento de temperatura que tiene lugar con la actividad contráctil podría ser uno de los factores implicados.

La fatiga muscular se ha asociado a cambios metabólicos en el interior de la fibra muscular que conducen a un aumento de la concentración de H^+ , P_i , ADP, AMP e IMP, además de a una disminución de la concentración de substratos energéticos como el ATP, la PCr y el glucógeno. Algunos de estos compuestos, especialmente los H^+ , alteran la capacidad del retículo sarcoplásmico para liberar y recaptar calcio.

→Figura 83. Disfunción intrínseca del retículo sarcoplásmico inducida por la contracción muscular repetida



«La fatiga muscular está relacionada con las alteraciones en el proceso de **liberación y/o recaptación del calcio**»

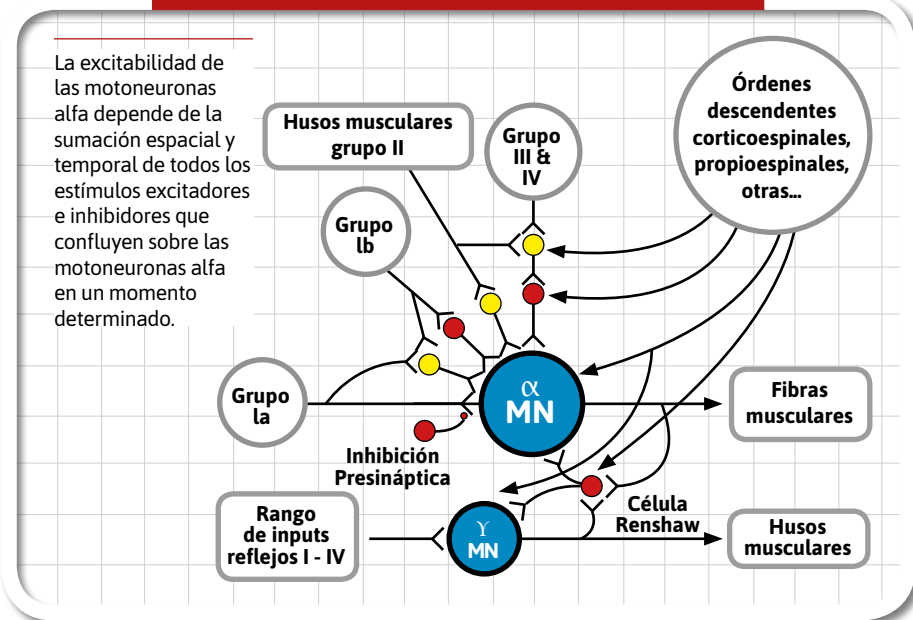
MECANISMOS CENTRALES

Entendemos como mecanismos centrales de la fatiga, la disminución de la capacidad para generar fuerza máxima y/o potencia muscular máxima debida a una alteración en las órdenes que genera y transmite el sistema nervioso a las fibras musculares.

➤ **Disminución de la excitabilidad de las motoneuronas.** La excitabilidad de las motoneuronas alfa depende de la sumación espacial y temporal de todos los estímulos excitadores e inhibidores que confluyen sobre las motoneuronas alfa en un momento determinado (Figura 85). Si la integración (suma) de todas estas señales acerca el potencial de reposo al umbral de descarga entonces las motoneuronas alfa están “facilitadas”, es decir la excitabilidad está aumentada por lo que pueden responder ante estímulos de menor magnitud con la génesis de un potencial de acción. En cambio, si la integración de las señales que confluyen en las motoneuronas alfa aumenta la diferencia de potencial de membrana en reposo (es decir, hace el potencial de membrana en reposo más negativo) entonces la excitabilidad de las motoneuronas alfa está disminuida. En este último caso para provocar un potencial de acción hará falta uno o varios estímulos más intensos de los necesarios en condiciones normales para activar la descarga de las motoneuronas alfa.

Las motoneuronas alfa reciben señales activadoras e inhibitoras que pueden proceder del encéfalo (señales que denominamos supramedulares o supraespinales), de otras zonas de la médula espinal (señales denominadas medulares o espinales) y de la periferia (señales aferentes periféricas).

➔Figura 85. Inputs excitadores e inhibidores que confluyen sobre las motoneuronas alfa en un momento determinado



➤ **Alteración en la generación del potencial de placa.** Una vez que el potencial de acción llega a los botones sinápticos se puede producir fatiga en presencia de alguna de las siguientes circunstancias:

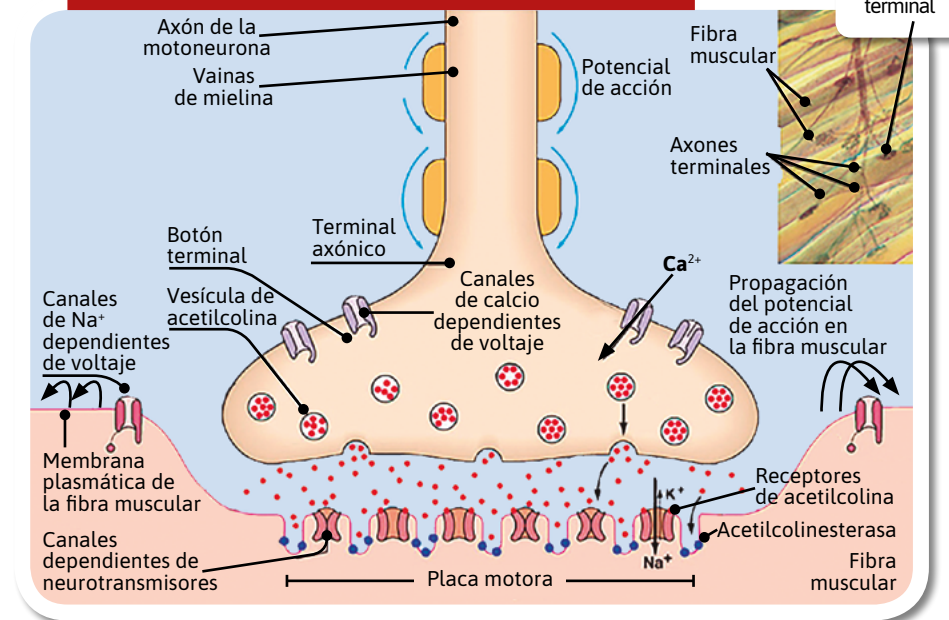
- Disminución de la cantidad de acetilcolina liberada por estímulo.
- Disminución de la sensibilidad de los receptores postsinápticos a la acetilcolina.

La cantidad de acetilcolina liberada por estímulo podría disminuir si desciende el número de vesículas sinápticas liberadas con cada potencial de acción o si la cantidad de moléculas de acetilcolina presente en cada vesícula disminuye. La estimulación repetida disminuye el número de vesículas sinápticas liberadas y la correspondiente magnitud del potencial de placa.

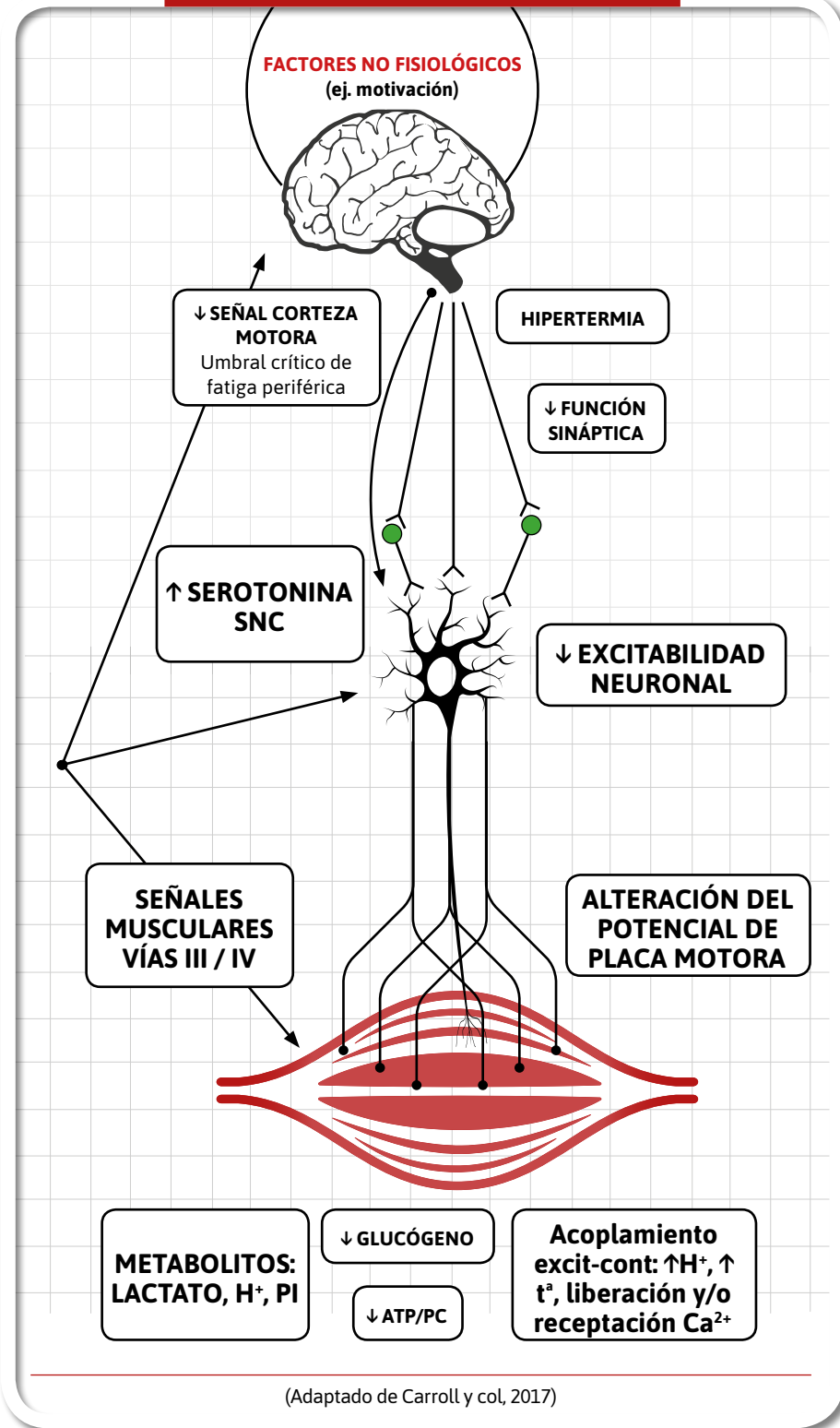
Estudios efectuados con en animales de experimentación sugieren que la cantidad de acetilcolina liberada por estímulo podría también ser reducida a consecuencia de la acumulación de metabolitos como el ATP y la adenosina que serían capaces de inhibir la liberación de acetilcolina actuando en receptores específicos de la membrana de la celular terminación nerviosa de la placa motora. (Figura 86).

En la Figura 87 mostramos un resumen de los mecanismos principales asociados a la fatiga durante una sesión de HIIT.

➔Figura 86. Alteración en la generación del potencial de placa



→Figura 87. Resumen de los mecanismos principales asociados a la fatiga durante una sesión de HIIT.



Aplicaciones en clínica y promoción de la salud

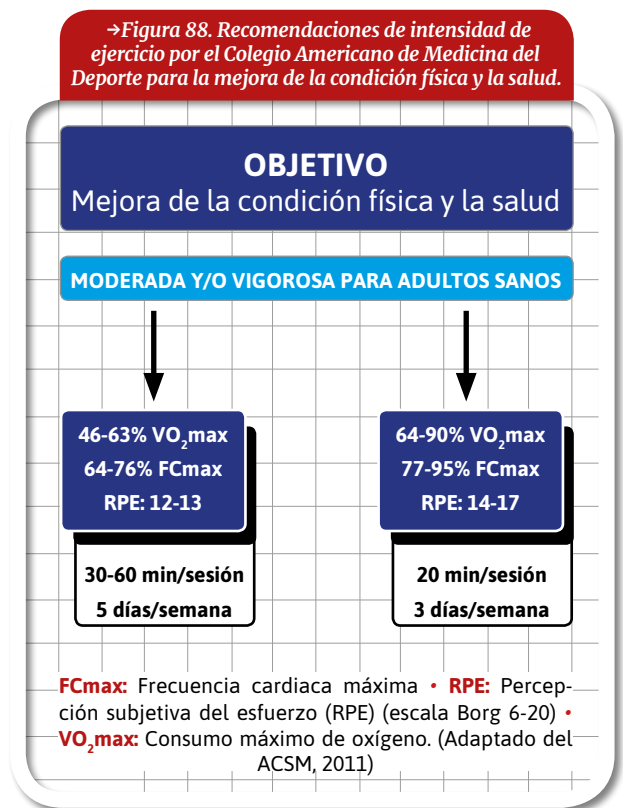
Por las características del HIIT, se trata de un protocolo de ejercicio que únicamente puede ser desarrollado por deportistas de un nivel avanzado de entrenamiento. Nos estamos refiriendo al HIIT genuino, es decir, a aquella modalidad de entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad que cumple los requisitos metodológicos de aplicación que hemos enumerado anteriormente.

*«Por las características del HIIT es un protocolo de ejercicio que **únicamente puede ser desarrollado por deportistas de un nivel avanzado de entrenamiento**»*

A partir de esta modalidad de entrenamiento de clara vinculación con el rendimiento deportivo, desde hace pocos años se han planteado variantes del HIIT, que aun conservando la denominación “HIIT” se alejan claramente de las características genuinas de esta modalidad de entrenamiento, bien sea por la intensidad y/o duración de los intervalos, bien sea por la duración y/o intensidad de los periodos de recuperación, bien sea por el número de intervalos realizados. En cualquier caso, estas modalidades de entrenamiento seguramente se hayan ganado el derecho de denominarse HIIT, pero es importante conocer las metodologías de aplicación en cada caso.

En este contexto, el HIIT se ha propuesto como un método de entrenamiento alternativo tanto para la mejora de la salud (promoción de la salud), como parte del ejercicio terapéutico en distintas enfermedades.

El Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM) en su posicionamiento de 2011 sobre los métodos más eficaces de ejercicio para la mejora de la condición física y la salud, señalaba la opción de la “actividad vigorosa” como alternativa a la actividad moderada clásica (Figura 88). Esa “actividad vigorosa” la definieron como intensidades del 64-90% VO₂max. El extremo de ese rango de intensidad recomendada (90% VO₂max) se sitúa, en la que hemos denominado en nuestro modelo trifásico de intensidad como FASE III, es decir, aquella que comienza superado el máximo estado estable del lactato ó el umbral ventilatorio 2, y donde se encuadra por concepto el HIIT, apuntando ya claramente hacia la posibilidad de aplicar ejercicios a intensidades cercanas al VO₂max, como medio de salud.



«Valores altos de VO₂max se han relacionado con una buena salud cardiovascular»

En relación con la promoción de la salud, frente a los factores de riesgo cardiovascular y metabólicos ampliamente consensuados, se sitúa como factor protector el VO₂max (Figura 89). Así, valores altos de VO₂max se han relacionado con una buena salud cardiovascular, mientras que valores bajos se han relacionado con un aumento de mortalidad por cualquier causa.

Dada la dependencia del VO₂ de una adecuada función fisiológica de los órganos y sistemas fundamentales del organismo, es lógico que valores altos de VO₂ reflejen un buen estado de salud. Un correcto estado funcional del sistema muscular, sistema cardiovascular y sistema pulmonar son imprescindibles para mantener un valor fisiológico de VO₂max. (Figura 90) Por el contrario, cualquier deterioro en el funcionamiento de alguno de esos grandes sistemas se asociará invariablemente a un descenso de su valor.

→Figura 89. Factores de riesgo cardiovascular y metabólicos

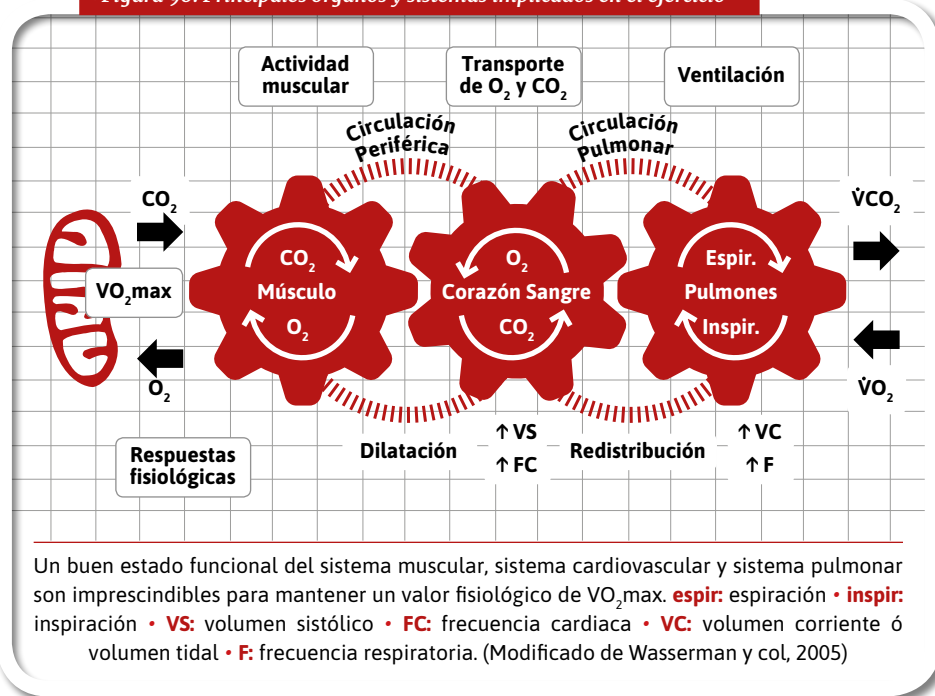
Factores de RIESGO CARDIOVASCULAR	Factores de RIESGO METABÓLICO
Hipertensión arterial	Hipertensión arterial
Hiperglucemia	Hiperglucemia
Hiperlipernias	Hipercolestorolemia
Antecedentes familiares	Niveles bajos de HDL-C
sedentarismo	Niveles elevados de triglicéridos
tabaquismo	Hiperinsulinemia
obesidad	obesidad

VO₂max

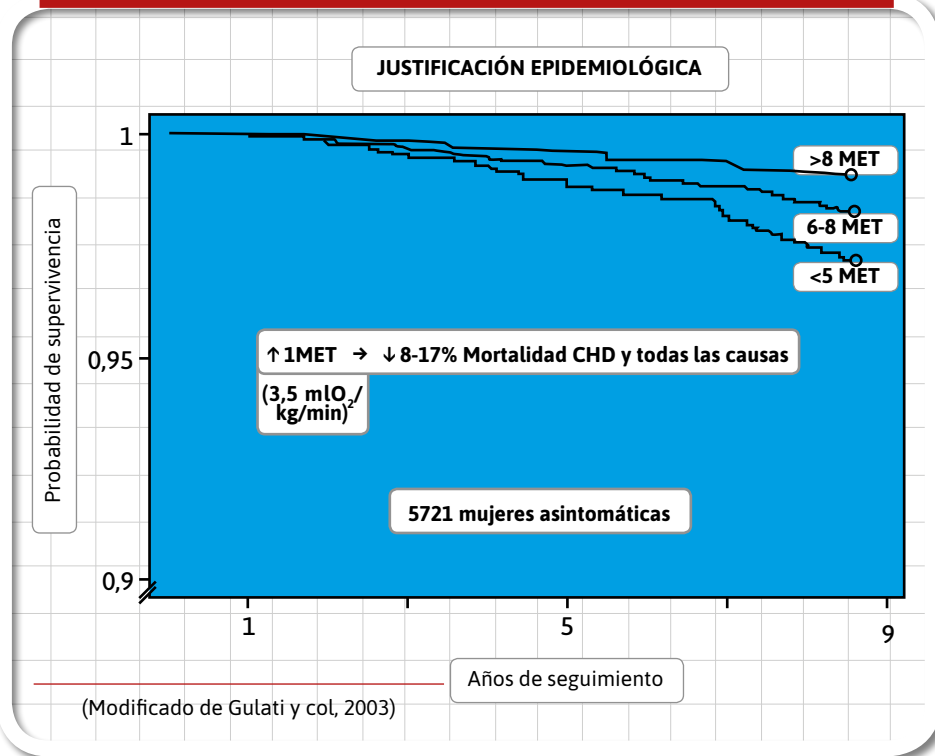
Así, el VO₂pico es un predictor independiente de mortalidad por cualquier causa, habiendo observado en estudios epidemiológicos que un aumento de sus valores disminuye el índice de mortalidad en personas sanas. (Figura 91), lo que justifica que sea el aumento del VO₂pico un objetivo prioritario en la asociación ejercicio-salud.

«La fisiología nos muestra que los ejercicios de alta intensidad (FASE III) son los que logran mayores mejoras en el VO₂max»

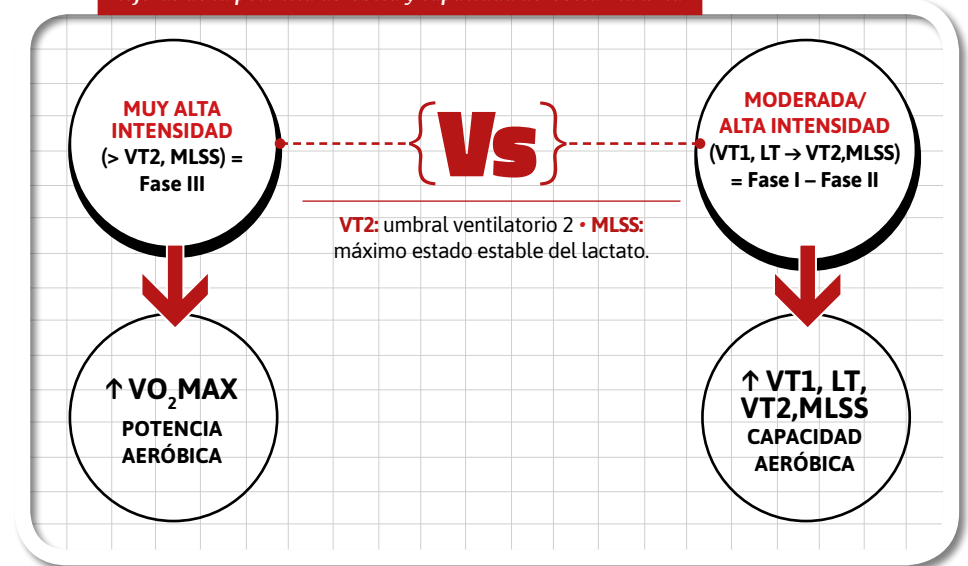
→Figura 90. Principales órganos y sistemas implicados en el ejercicio



→Figura 91. Curvas de supervivencia en función de la capacidad de ejercicio medida en METs



→Figura 92. Influencia de la intensidad de ejercicio en las mejoras de la potencia aeróbica y capacidad aeróbica máxima



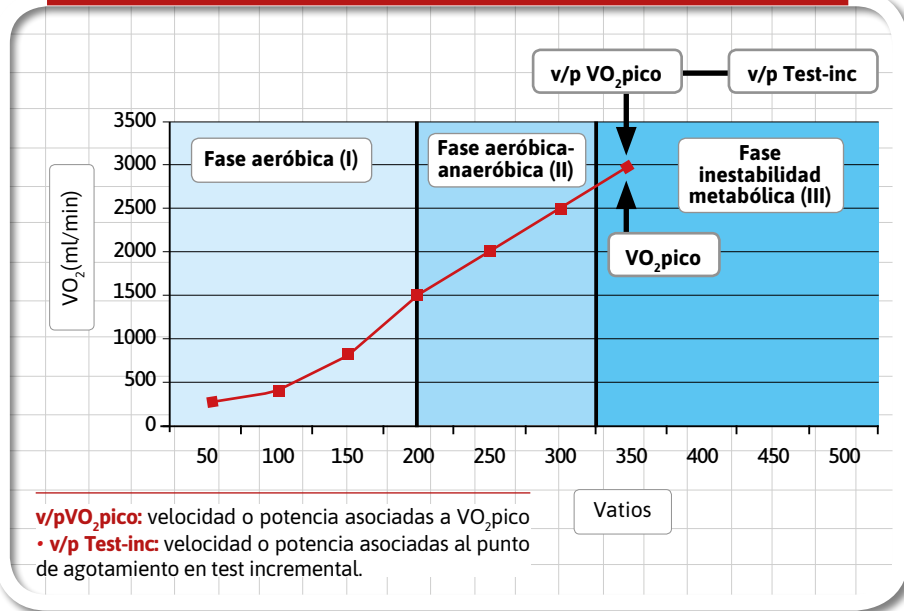
La fisiología nos muestra que los ejercicios de alta intensidad (FASE III) son los que logran mayores mejoras en el VO_{2max} , mientras que la intensidad de ejercicio asociada al umbral ventilatorio 1 (VT1) o al umbral láctico (UL), se asocian con las mayores mejoras en la capacidad aeróbica (VT1, UL), o capacidad de sostener un ejercicio durante un tiempo prolongado a una determinada intensidad. (Figura 92)

ASPECTOS METODOLÓGICOS DEL HIIT APLICADO EN EL ÁMBITO DE LA SALUD

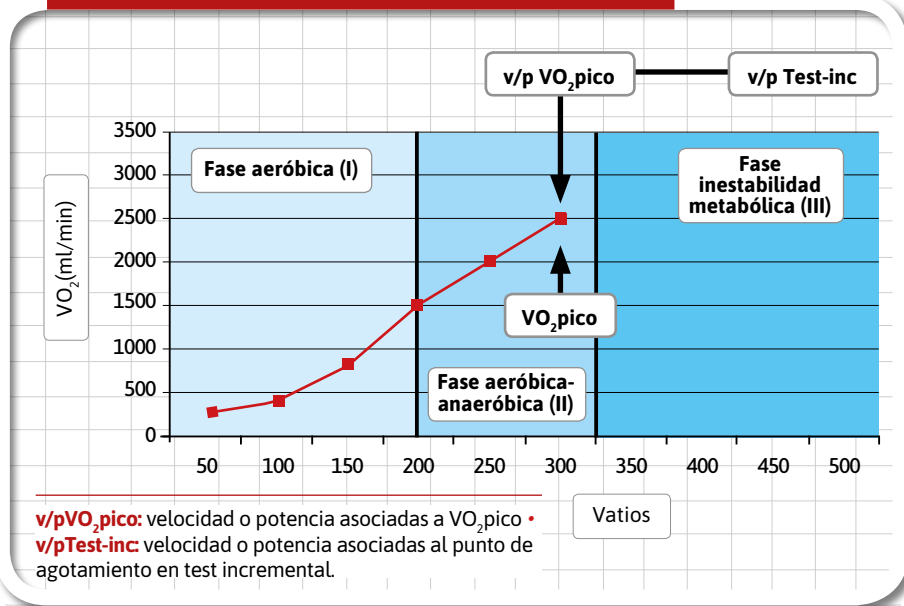
A diferencia de lo que ocurre en atletas, respecto al comportamiento del VO_2 en una prueba de esfuerzo hasta el agotamiento, donde se alcanza una meseta de estado estable que posibilita la determinación de la velocidad o potencia aeróbica máxima (VAM-PAM), y la velocidad o potencia asociada al máximo esfuerzo o agotamiento, en la mayoría de las personas de hábitos sedentarios ó poco entrenados, y en todos los pacientes, no se alcanzará la meseta estable del VO_2 , sino que el máximo valor de VO_2 coincidirá con el punto de agotamiento (VO_{2pico}). Así pues, el HIIT en estas circunstancias baja algo de intensidad, situándose generalmente al inicio de la Fase III (Figura 93), o incluso en Fase II, si la capacidad funcional de la persona está

muy limitada (Figura 94). Así pues, habitualmente en clínica la intensidad de los intervalos se estructura en función de la velocidad o potencia máxima alcanzadas en la prueba de esfuerzo.

→Figura 93. Aplicación del HIIT en base al $VO_{2\text{pico}}$ (situado al inicio de fase III)



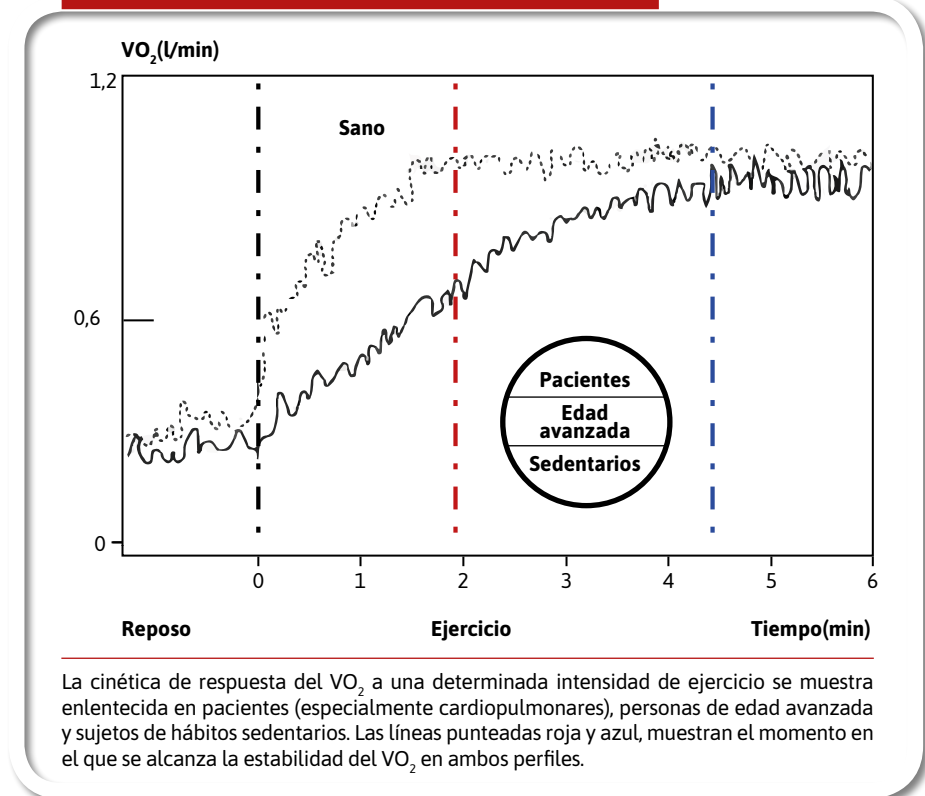
→Figura 94. Aplicación del HIIT en base al $VO_{2\text{pico}}$ (situado en fase II) en pacientes con importante deterioro funcional



«En la mayoría de las personas de hábitos sedentarios o poco entrenados, y en todos los pacientes, no se alcanzará la meseta estable del VO_2 sino que el máximo valor de VO_2 coincidirá con el punto de agotamiento ($VO_{2\text{pico}}$)»

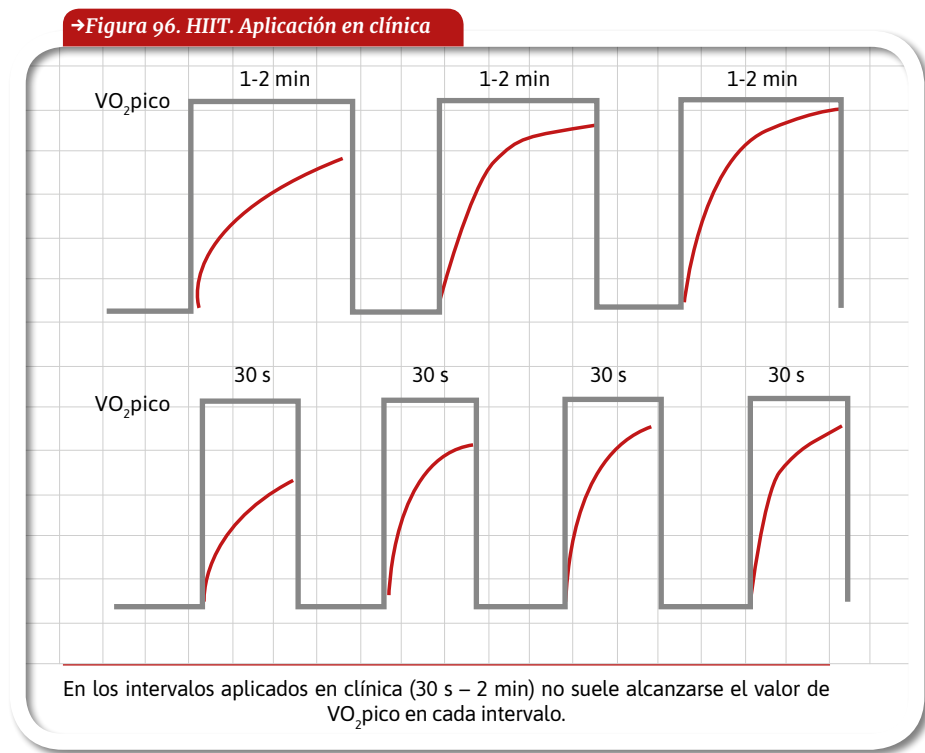
Aunque la intensidad relativa de ejercicio asociada al HIIT aplicado a la salud sea conceptualmente menor que la utilizada en el área del rendimiento deportivo, el principal objetivo para la mayoría de los pacientes y personas que buscan mejorar su salud es el mismo que nos ocupaba en HIIT aplicado en deportistas, esto es, situarnos el mayor tiempo posible cerca del $VO_{2\text{pico}}$. Para ello, y de modo general, ya que cuando se trata de pacientes todo ha de estar supeditado al estado de la enfermedad, la intensidad del intervalo debería estar cerca de la velocidad o potencia asociada al $VO_{2\text{pico}}$.

→Figura 95. Cinética de la respuesta del VO_2 en pacientes cardiopulmonares, personas de edad avanzada y sedentarios



«La duración de los intervalos en clínica **no puede fijarse de manera generalizada**, debido a las características fisiopatológicas de cada patología. La mayoría de los intervalos en clínica **tienen una duración entre 30 segundos y 1 minuto**»

Por otro lado, la duración de los intervalos en clínica no puede fijarse de manera generalizada, debido a las características fisiopatológicas de cada patología. Así, los pacientes cardiopulmonares, y en general las personas de edad media y avanzada de hábitos sedentarios, suelen manifestar una cinética de respuesta del VO_2 enlentecida lo que dificulta alcanzar valores altos de VO_2 con periodos cortos de intervalos (Figura 95). Sin embargo, tampoco es posible generalmente alargar el tiempo del intervalo para llegar a valores altos de VO_2 al entrar en fatiga de manera prematura respecto a personas sanas y jóvenes. Así pues, la mayoría de los intervalos en clínica tienen una duración entre 30 segundos y 1 minuto, dejando abierta la posibilidad de llegar a los 3 min si el estado funcional y clínico del paciente lo permite. Duraciones de menos de 30 s (ej. 10 s) se cubren



energéticamente con el oxígeno de la mioglobina y la energía de los fosfágenos, y por tanto producen menor respuesta cardiovascular, algo que puede ser una herramienta de utilidad en la aplicación de intervalos de alta intensidad en pacientes cardiopulmonares con muy escasa capacidad funcional.

Los condicionantes anteriores llevan a la consideración conceptual que en la aplicación de HIIT en clínica e incluso en sujetos sanos sedentarios, habitualmente no se va a alcanzar el valor pico de VO_2 en el trabajo interválico de alta intensidad (Figura 96).

De la misma forma que hemos comentado con la intensidad y duración de los intervalos, no se puede preestablecer valores de intensidad y duración de la recuperación en el ámbito clínico ya que depende del estado del paciente. En general, siempre que sea posible se dará preferencia a la recuperación activa con duraciones 1:1 respecto a la duración del intervalo. De la misma forma que en la aplicación al deporte, se trata de establecer periodos de recuperación lo más cortos e intensos posibles que posibiliten cumplir con el objetivo de tiempo acumulado de trabajo de alta intensidad en una misma sesión, pero el diseño se deberá hacer paciente a paciente.

«Siempre que sea posible **se dará preferencia a la recuperación activa con duraciones 1:1 respecto a la duración del intervalo**»

APLICACIÓN DE HIIT EN EL ÁMBITO DE LA PROMOCIÓN DE LA SALUD

Existe una fuerte evidencia que indica que la aplicación de HIIT en personas sanas que buscan salud, mejora los índices o marcadores de salud cardiometabólica, vascular, endocrina y pulmonar, al menos en la misma cuantía o incluso superior en algunos casos que el entrenamiento tradicional aeróbico de intensidad moderada. Lo breve de los estudios publicados (generalmente 4-12 semanas) hace difícil posicionarse definitivamente en la ventaja del HIIT frente al entrenamiento continuo, pero la tendencia si muestra resultados globales más favorable asociados al HIIT. Además, existe la ventaja añadida (posiblemente la mayor ventaja) al aplicar HIIT

del acortamiento del tiempo de ejercicio dedicado en cada sesión (hasta 5 veces menor en HIIT), factor que puede resultar clave para muchas personas, y que seguramente determine además una mayor adherencia a los programas de ejercicio, elemento, este último, crítico en la verdadera eficacia de los programas de ejercicio.

«La aplicación de HIIT en personas sanas que buscan salud, **mejora los índices o marcadores de salud cardiometabólica, vascular, endocrina y pulmonar**, al menos en la misma cuantía o incluso superior en algunos casos que el entrenamiento tradicional aeróbico»

Los resultados obtenidos en la aplicación del HIIT en población sana, no solo se refieren a la mejora del fitness cardiorrespiratorio (VO₂pico), sino también a la sensibilidad a la insulina, población mitocondrial, actividad enzimas oxidativas, función pulmonar, función y morfología cardíaca, función endotelial, status inflamatorio global, perfil lipídico, presión arterial e incluso composición corporal. (Figura 97).

→Figura 97. Efectos fisiológicos saludables asociados al HIIT

↑ VO ₂ pico	↑ PGC-1α
↓ PA sistólica y diastólica	↑ tasa máxima de recaptación de Ca ⁺⁺
↑ HDL-C	↑ disponibilidad óxido nítrico
↓ triglicéridos y glucosa ayunas	↑ Función cardíaca
↓ estrés oxidativo e inflamación	↑ Adherencia
↑ adiponectina	↑ calidad de vida
↑ sensibilidad insulina	

PA: presión arterial • HDL-C: lipoproteínas de alta densidad

RECOMENDACIONES PRÁCTICAS DE APLICACIÓN DE HIIT EN EL ÁMBITO DE LA SALUD

Toda la precisión que se ha mostrado a la hora de diseñar un HIIT en población deportista se rebaja sustancialmente cuando el objetivo es la mejora de la salud. La epidemiología, la fisiología y la clínica nos dicen que el ejercicio de alta intensidad es beneficioso para la salud, así que el HIIT aplicado a la salud debe preservar ese principio sin caer en demasiada complejidad. Finalmente, lo importante es que las personas lleguen a adherirse al programa y para ello el estrés fisiológico aplicado en cada sesión debe ser controlado. Bajo nuestro punto de vista, esta sería una buena opción de HIIT aplicado a la salud: (Figura 98)

→Figura 98. Propuesta de características de HIIT aplicado a la salud

INTENSIDAD DE INTERVALOS

RPE: 17/18 (Borg)

DURACIÓN DE INTERVALOS

30-60 S

INTENSIDAD RECUPERACIÓN

4 km/h (tapiz rodante) /
50 W (cicloergómetro)

DURACIÓN RECUPERACIÓN

1:1 respecto a la duración del intervalo

NÚMERO DE INTERVALOS

- **30 s:** 4 series de 6 intervalos (1-2 min recup entre series)
- **60 s:** 2 series de 6 intervalos (2 min de recup entre series)

FRECUENCIA SEMANAL

3 sesiones/semana

- **Intensidad de intervalo:** se utilizaría la percepción del esfuerzo (RPE) solicitando a la persona una intensidad 17-18 sobre 20 (Escala de Borg clásica) ó un valor de 7/8 en la escala 1-10. La ventaja de utilizar RPE es que el sujeto decide en cada sesión la intensidad en función de diferentes circunstancias, como pueden ser horas de sueño, día de trabajo intenso, estado de ánimo, etc.
- **Duración del intervalo:** de 30 a 60 segundos. Somos más partidarios de los 60 s, pero igualmente se pueden utilizar periodos más cortos (30 s), que son mucho mejor aceptados por los sujetos, y que posibilitan una sesión de ejercicio no demasiado estresante.
- **Intensidad de la recuperación.** Caminar a ~4km/h en la cinta, o unos 50 w en bicicleta. Para cualquier otra actividad (ej. remo) se seleccionará una intensidad de recuperación baja.

- **Duración de la recuperación entre intervalos.** Siempre 1:1 respecto a la duración del intervalo.
- **Número de intervalos:** Para intervalos de 30 s, se recomienda poder alcanzar progresivamente 4 series de 6 intervalos, con 1-2 min de descanso activo entre series. Para intervalos de 60 s, se recomienda alcanzar progresivamente 2 series de 6 intervalos, con 2 min de recuperación activa.
- **Frecuencia semanal.** Esta modalidad de HIIT se puede aplicar hasta 3 días por semana sin riesgo de entrar en sobre-entrenamiento.

Evidentemente las recomendaciones anteriores nos llevan a una sesión de HIIT edulcorado que no cumple los requisitos mínimos para considerarse una verdadera sesión de HIIT, pero es que en el ámbito de la salud: 1) no se justificaría la aplicación de tan altas cargas; y 2) sería imposible que un sujeto no deportista pudiera desarrollar una verdadera sesión de HIIT.

«Toda la precisión que se ha mostrado a la hora de diseñar un HIIT en población deportista **se rebaja sustancialmente cuando el objetivo es la mejora de la salud**»

APLICACIÓN DE HIIT EN CLÍNICA

La aplicación de protocolos aeróbicos intermitentes de alta intensidad (HIIT) en clínica probablemente haya sido la gran aportación de esta modalidad de entrenamiento en los últimos años. Estamos de acuerdo en que nos situamos en la aplicación de un ejercicio intermitente, de perfil aeróbico u oxidativo y de elevada intensidad, pero evidentemente el HIIT aplicado en clínica solo guarda similitud con el HIIT genuino en su estructura.

Como cualquier medicamento, no es posible adelantar como sería una prescripción de entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad en pacientes de manera generalizada ya que dependerá de muchos condicionantes clínicos que se han de controlar. Lo que si sabemos es el principio activo que queremos prescribir, esto es HIIT, y en la medida de lo posible deberemos intentar acercarnos a la estructura que ha mostrado más eficacia y que hemos repasado en anteriores apartados.

Una ventaja evidente a priori de esta modalidad de entrenamiento es el menor tiempo necesario de ejercicio para obtener en muchos casos adaptaciones fisiológicas similares (ej. control de la glucemia).

Como otros tratamientos, la prescripción de HIIT en clínica es un acto médico, y como tal solo puede ser prescrito por el médico del paciente u otros médicos en base a la historia clínica. A continuación, repasaremos algunos estudios en los que se han aplicado protocolos HIIT en diferentes patologías:

INSUFICIENCIA CARDÍACA

La mayoría de los estudios clínicos publicados aplicando HIIT en pacientes con insuficiencia cardiaca sitúan a esta modalidad de entrenamiento en un rango de seguridad elevada y con alta eficacia en la mejora del estado clínico y funcional del paciente. **Veamos dos ejemplos:**

➤ **En 2007,** Wisloff y col publicaron los resultados de una investigación cuyo objetivo fue comparar programas de ejercicio de intensidad moderada vs alta intensidad, en relación a sus efectos sobre variables asociadas a la función cardiovascular y factores pronóstico en pacientes con insuficiencia cardiaca, que mostraban un valor medio de VO_{2pico} de 13 ml/kg/min y una fracción de eyección (FE) del 29%. Los entrenamientos continuo e interválico (**Figura 99**) se aplicaron en 3 sesiones a la semana durante 12 semanas. Los resultados mostraron una reversión del remodelado del ventrículo izquierdo (VI) solo en el grupo que se aplicó HIIT (-18% y -25%, para los volúmenes diastólicos y sistólicos finales, respectivamente). Por otra parte, en el grupo HIIT la FE aumentó un 35%, mientras que el péptido atrial natriurético descendió un 40%. Por otra parte, el VO_{2pico} aumentó más en el grupo HIIT (+46%) que en el grupo de entrenamiento continuo (+14%), mejorando igualmente en mayor cuantía la función endotelial en el grupo HIIT.

➤ **En 2014,** Angadi SS comparó igualmente un protocolo HIIT vs continuo moderado aplicados a pacientes con insuficiencia cardiaca con fracción de eyección conservada, valorando los efectos sobre el VO_{2pico} , la disfunción del ventrículo izquierdo y la función endotelial. Los programas de entrenamiento se aplicaron 3 días a la semana durante 4 semanas, y consistió en:

➔ **HIIT** 4x4 min 85-90% FC_{pico}; Rec: 3 min activa

➔ **CONTINUO** 30 min, 70% FC_{pico}



Dos meta-análisis publicados en 2014 mostraron una fuerte evidencia de la mayor eficacia clínica del HIIT vs entrenamiento continuo de moderada intensidad:

- **Pattyn y col, 2014** en una revisión sistemática de 206 pacientes que habían sido entrenados con HIIT vs entrenamiento continuo, mostraron evidencia de una mejora más acusada de los valores de VO₂pico en los pacientes que entrenaron HIIT.
- En el mismo año **Elliott y col, 2014** incluyeron en su análisis 229 pacientes comparando los efectos de entrenamiento continuo moderada vs HIIT. Los resultados mostraron claramente un mayor aumento del VO₂pico y del umbral anaeróbico asociados al protocolo HIIT vs continuo moderado. Los autores concluyeron sugiriendo que el entrenamiento HIIT se muestra más eficaz en la mejora de la capacidad aeróbica en pacientes coronarios clínicamente estables.

«En pacientes coronarios estables sin isquemia residual, **el HIIT se muestra como una alternativa de primera elección en rehabilitación cardíaca**»

Los resultados mostraron mayores aumentos del VO₂pico y mejoras en la disfunción ventricular en el grupo que aplicó HIIT.

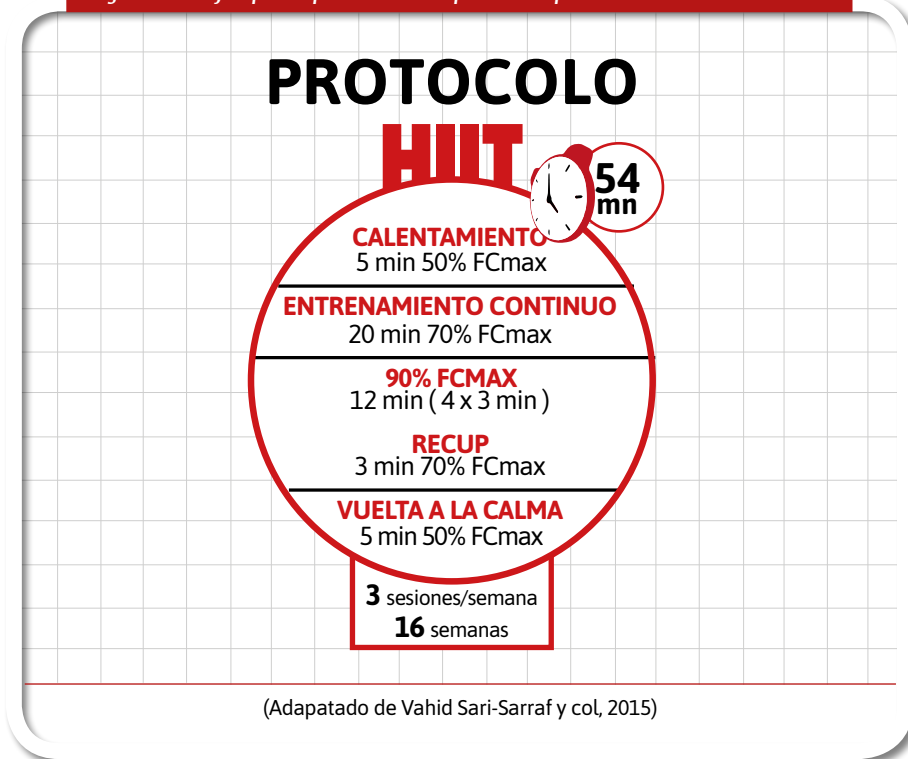
Los resultados de estos y otros estudios similares indican que el entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIIT) se puede aplicar en pacientes con insuficiencia cardíaca con mejores resultados clínicos que los obtenidos con el ejercicio continuo de moderada intensidad. Evidentemente, todo ello bajo la supervisión e indicación médica en cada caso.

ENFERMEDAD CORONARIA

La aplicación de entrenamientos intermitentes de alta intensidad en pacientes coronarios ha supuesto una importante novedad en los últimos años. En un entorno de evolución clínica de pacientes estables sin isquemia residual el HIIT se muestra como una alternativa de primera elección en rehabilitación cardíaca.

SÍNDROME METABÓLICO

El paciente con síndrome metabólico tiene un mayor riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2, lo que lleva a un pronóstico de mortalidad prematura en la mayoría de los casos. Diferentes estudios han mostrado la efectividad del ejercicio aeróbico en la mejora de los factores asociados a este síndrome, y recientemente se publicaron los resultados de una investigación *Sari-Sarraf y col, 2015* cuyo objetivo fue evaluar los efectos de un entrenamiento combinado continuo e interválico sobre factores de riesgo en pacientes con síndrome metabólico. En la **Figura 102**, se muestra el protocolo de entrenamiento aplicado. El principal hallazgo de esta investigación fue que este protocolo redujo los factores de riesgo en los pacientes, y además, el efecto positivo se mantuvo a lo largo de las 12 semanas de entrenamiento, no observando una estabilización de las mejoras.



HIIT Y PÉRDIDA DE GRASA CORPORAL

Aunque quizás no esté justificado que este apartado figure en la sección “Aplicaciones de HIIT en la clínica”, hemos decidido su inclusión pensando en los pacientes obesos, y no tanto en las personas con sobrepeso. En cualquier caso, vamos a tratar de forma conjunta los posibles beneficios de la aplicación de HIIT en la lucha contra el sobrepeso y/o la obesidad.

La aplicación de HIIT con fines de disminución de la grasa corporal, es sin duda, el objetivo prioritario para millones de personas. Otra cosa distinta es su efectividad real a la hora de resolver un problema social que en la mayoría de los casos tiene su origen en una inadecuada alimentación.

A continuación, haremos un repaso de algunas investigaciones recientes para tratar de evidenciar el estado real de la cuestión.

«El HIIT se muestra más eficaz en la mejora de la capacidad aeróbica en pacientes coronarios clínicamente estables»

La hipótesis inicial de trabajo es que el HIIT podría ser más efectivo en la reducción de la grasa subcutánea y abdominal que otras modalidades de ejercicio.

En una revisión publicada en 2011 (Boutcher y col, 2011) los autores resaltaron los resultados de diferentes investigaciones, concluyendo que la aplicación de HIIT se mostró muy eficaz, además de en la mejora de la capacidad aeróbica ($\uparrow\text{VO}_2\text{max}$), especialmente en el aumento de la sensibilidad a la insulina. Los efectos sobre la grasa subcutánea y/o abdominal parecen positivos, aunque la diversidad de los protocolos HIIT utilizados dificulta una conclusión más definitiva. Lo que no hay duda es que la inversión del tiempo en ejercicio disminuye drásticamente al aplicar HIIT frente a los protocolos clásicos de entrenamiento continuo, y este es un factor que puede ser decisivo en la adherencia al programa de ejercicio destinado al descenso de la grasa corporal.

Se han propuesto diferentes mecanismos que podrían justificar una mayor eficacia del HIIT para perder grasa corporal:

- 1| Inhibición de la glucogenolisis anaeróbica por acidosis**, con resíntesis de ATP desde la PC y reservas intramusculares de triglicéridos.
- 2| Disminución del apetito por estímulo simpático-adrenal**
- 3| Efectos sobre el post-ejercicio (EPOC)**. Las catecolaminas incrementarían la oxidación de las grasas post-ejercicio, como resultado de aclarar lactato y H^+ , y resintetizar glucógeno. Los elevados niveles de GH con HIIT también incrementarían el gasto energético y la oxidación de las grasas.

Es muy importante remarcar, que los mecanismos propuestos se refieren a la aplicación de HIIT genuinos, pero la realidad es que a pacientes obesos o personas con sobrepeso no se les va aplicar protocolos HIIT genuinos, sino adaptados a sus características, lo que lógicamente va a provocar un distanciamiento de esos mecanismos fisiológicos.

Así, por ejemplo, en un estudio publicado en 2017 (Martins y col, 2017) la aplicación de un protocolo HIIT en pacientes obesos no mostró efectos diferenciales sobre apetito, hormonas relacionadas con el apetito y valor de recompensa de los alimentos respecto al entrenamiento continuo.

«No se ha establecido hasta la fecha el protocolo HIIT más idóneo para aplicarlo en personas cuyo objetivo es perder grasa corporal»

Resaltamos en este punto los resultados de un estudio interesante publicado en 2017 (Schaun y col, 2017) cuyo objetivo fue comparar el gasto energético (EE) durante y después de una sesión de HIIT vs entrenamiento continuo (CONT) en hombres jóvenes (18-35 años) y sanos. El protocolo HIIT utilizado fue de 8x20 s al 130% VAM, con 10 s de recuperación pasiva. El protocolo CONT consistió en 30 min de ejercicio continuo al 90-95% de la frecuencia cardiaca asociada al umbral ventilatorio 2 (VT₂). Los resultados mostraron que mientras que el gasto energético de la sesión de ejercicio fue significativamente mayor en CONT, la EE post-ejercicio y el EPOC fueron significativamente más elevados con HIIT. Además, el retorno a los valores basales del VO₂ después del HIIT se demoró entre 6 y 25 min.

Aunque el protocolo de este estudio se denominó HIIT, en realidad se trató de un SIT, es decir, la aplicación de ejercicio supra-máximo, con lo que las conclusiones están en gran parte condicionadas a ese protocolo. Además, el estudio está realizado con personas jóvenes sin sobrepeso, y es muy dudoso que pacientes obesos o con sobrepeso puedan realmente asumir un protocolo intermitente supra-máximo. En definitiva, y como se repite en otros muchos estudios, es tentador sacar conclusiones de aplicación de protocolos HIIT o SIT que en la práctica difícilmente van a poder ser aplicados a los pacientes obesos y/o con sobrepeso importante.

En otro estudio similar (Greer y col, 2015) los autores compararon el exceso de VO₂ post-ejercicio (EPOC) entre ejercicios isocalóricos de fuerza (45 min de entrenamiento en circuito al 60% 1RM hasta el agotamiento en cada ejercicio), aeróbico continuo (39% VO₂pico) y aeróbico interválico (30 s al 90% VO₂pico, con 2-3 min de recuperación pasiva). Los entrenamientos aeróbico continuo e interválico cesaron al alcanzar el mismo gasto calórico que la sesión de entrenamiento de fuerza. Los resultados mostraron que la tasa metabólica de reposo a las 12 h y 21 h post-ejercicio fue significativamente más alta después de los entrenamientos de fuerza e interválico, respecto al grupo que realizó entrenamiento continuo. Los autores sugirieron que el entrenamiento de fuerza y el interválico de alta intensidad se asocian con un mayor gasto calórico diario que el entrenamiento continuo de baja intensidad.

En relación con la pérdida de grasa corporal, Zhang y col, 2017 compararon un protocolo de ejercicio continuo vs interválico sobre la reducción de la grasa visceral de mujeres jóvenes obesas. Los investigadores igualaron el gasto energético de ambos protocolos, aplicando el entrenamiento durante 12 semanas, 3-4 sesiones/semana. El protocolo HIIT consistió en intervalos de 4 min al 90% VO₂max con 3 min de recuperación pasiva, mientras que el entrenamiento continuo se realizó al 60% VO₂max, ambos hasta completar un gasto energético de 300 kJ/sesión. Los resultados mostraron que la reducción de grasa abdominal fue similar con ambos protocolos, aunque el HIIT se muestra como opción preferible por la relación tiempo-eficiencia.

Por último, 2 meta-análisis publicados en 2017 que compararon los efectos del entrenamiento continuo de moderada intensidad vs entrenamiento interválico de alta intensidad mostraron que:

- 1| el HIIT mostró similares beneficios que el entrenamiento continuo en la reducción de la grasa corporal**, y ninguna de las modalidades de entrenamiento se asoció a reducción de grasa corporal de impacto clínico (Keating y col, 2017).
- 2| No se observaron diferencias entre HIIT y entrenamiento continuo en reducción de masa grasa corporal y circunferencia de cintura.** Además, solo se observaron modestos cambios en composición corporal en sujetos obesos o con sobrepeso, sin cambios significativos en el peso total. En cualquier caso, el tiempo total invertido en las sesiones de HIIT supuso un 40% respecto al tiempo necesario para el entrenamiento continuo (Wewege y col, 2017)

El HIIT mostró similares beneficios que el entrenamiento continuo en la reducción de la grasa corporal, y ninguna de las modalidades de entrenamiento se asoció a reducción de grasa corporal de impacto clínico

En resumen, no parece que el HIIT haya demostrado una mayor efectividad que el entrenamiento continuo de intensidad moderada para ayudar a perder grasa corporal en personas obesas y/o con sobrepeso importante. Sin embargo, el menor tiempo necesario para realizar sesiones de HIIT (aprox. un 40% menos) y otras ventajas en la mejora de la potencia aeróbica y marcadores de salud sitúa a esta modalidad de entrenamiento como una opción preferente.



Evidencia científica y **HIIT**

HÍGADO GRASO NO ALCOHÓLICO Y EJERCICIO

El término hígado graso se refiere a la acumulación excesiva de grasa en las células del hígado. Lo habitual es que se deba al consumo de alcohol. Sin embargo, en los últimos años se ha reconocido que una gran parte de los pacientes con hígado graso no beben. Por lo tanto, se ha acuñado entonces el término hígado graso no alcohólico (HGNA). En una primera fase de la enfermedad ocurre la acumulación de grasa sin producir inflamación en el tejido hepático (hígado graso simple ó esteatosis hepática). La presencia de grasa cambia la función del hígado, pudiendo ocasionar inflamación hepática. Cuando esta ocurre se da lugar a la llamada esteatohepatitis no alcohólica cuya trascendencia radica en su potencial progresión hacia la cirrosis hepática, considerada una etapa avanzada de la enfermedad. El ejercicio está indicado como parte del tratamiento pero no hay muchos estudios sobre su dosificación. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio realizado en ratas (Cho y col, 2014; *Med Sci Sports Exerc* 23-dic) cuyo objetivo fue valorar los efectos del ejercicio interválico de alta

intensidad vs el continuo moderado en la progresión de la enfermedad. Los resultados mostraron beneficios del ejercicio intensidad-dependientes sobre marcadores de función hepática (AMPK) con un mayor descenso de los niveles de adiponectina. En resumen, como en otras patologías el HIT se muestra como alternativa de entrenamiento para combatir la esteatosis hepática no alcohólica.

HIT Y GRASA VISCERAL

El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIT) es una modalidad de entrenamiento deportivo que en los últimos años se está aplicando también en el ámbito clínico y de la salud. El factor tiempo, la variedad de estímulos y la seguridad de realización hacen que cada vez se extienda más su aplicación. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Giannaki y col, 2015; *J Sports Med Phys Fitness* 8-ene) en el que los autores examinaron los efectos de una combinación de entrenamiento convencional más HIT sobre la condición física y la composición corporal en adultos sanos. La intervención se realizó durante 8 semanas. Un grupo realizó

entrenamiento convencional en sala de Fitness 4 días/semana (Grupo C), mientras que el otro entrenó 2 días convencionales y otros 2 HIT. Los resultados mostraron la efectividad de ambos programas reduciendo la grasa corporal total y la abdominal en particular, si bien el descenso fue significativamente mayor en el grupo que entrenó HIT. También ambos programas aumentaron la fuerza (*handgrip*), tiempo de esprint, capacidad de salto y flexibilidad. Por el contrario, solo el grupo que entrenó HIT mejoró el fitness cardiorrespiratorio.

ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE SPRINT (SIT) Y RENDIMIENTO EN 5 K

El SIT ha demostrado ser eficaz en la mejora del Fitness cardiorrespiratorio ($VO_2\text{max}$) con un menor volumen y tiempo de entrenamiento que la modalidad tradicional de entrenamiento de resistencia aeróbica. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Denham y col, 2015; *J Strength Cond Res 2-feb*) cuyo objetivo fue investigar los efectos del SIT sobre el rendimiento en 5 k corriendo. Participaron sujetos desentrenados que fueron distribuidos en dos grupos: Control (CON) o SIT. Este último consistió en 3-8 sprint a máxima intensidad, 3 días/semana, durante 4 semanas. Todos los participantes realizaron un test de 5 k en una pista de atletismo, así como una prueba de esfuerzo en laboratorio, antes y después de la intervención. Los resultados mostraron que en relación al grupo control, el SIT provocó una mejora del 4,5% del rendimiento en 5 k, con aumento significativo del 4,5% del $VO_2\text{max}$.

RENDIMIENTO EN REMO: HIT VS SIT

No cabe duda que el entrenamiento interválico de alta intensidad es ahora una de las modalidades de entrenamiento más aplicadas, tanto en el ámbito del deporte-rendimiento (especialmente en aficionados, ya que en los deportistas de elite es rutinario desde hace 50

años), como sobre todo en el ámbito de la salud. Las investigaciones y publicaciones relacionadas con este tema en los últimos años se han multiplicado exponencialmente. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Akca y Aras, 2015; *J Strength Cond Res 3-feb*) en el que los autores examinaron los efectos de modalidades SIT y HIT sobre el rendimiento en una prueba de 2 k remando *indoor*. Participaron 20 estudiantes, a los que se examinó antes de comenzar el estudio, determinando rendimiento en 2 k remando, $VO_2\text{pico}$, potencia máxima alcanzada en prueba de esfuerzo (PPO), y potencia asociada a una concentración de lactato de 4 mM. Los participantes fueron distribuidos en dos grupos de intervención, realizando un total de 8 sesiones de entrenamiento en 4 semanas (2 sesiones/semana). El SIT consistió en 10x30 s al 150% PPO con 4 min de recuperación. El HIT consistió en 8x2,5 min al 90% PPO con 3 min de recuperación. Los resultados mostraron mejoras de rendimiento en 2 k similares entre los dos grupos (5,7 vs 5 s). De la misma forma, los dos grupos mejoraron significativamente las demás variables asociadas al rendimiento, pero sin diferencias entre grupos.

CUESTIONANDO EL PARADIGMA DE APLICACIÓN DEL HIT

El entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIT ó HIIT) se viene aplicando con cierta sistemática desde los Juegos Olímpicos de Suecia en 1912. El atleta Emil Zatopek, triple campeón olímpico 1952 (5 k, 10 k, 42 k) realizaba 100x400 m con 200 m de recuperación activa, siendo el primer atleta que trató de estructurar el HIT con criterios científicos. Desde entonces el HIT ha ido evolucionando y hoy en día pocos son los entrenadores de resistencia aeróbica que no aplican esta modalidad de entrenamiento. Por otra parte, en los últimos años el HIT ha redoblado su protagonismo al proyectarse sobre el área de la salud, tanto a nivel

preventivo, como en la prescripción de ejercicio en patología. Los efectos del HIT inciden especialmente en uno de los tres pilares fisiológicos básicos en los que se sustenta el rendimiento aeróbico: la potencia aeróbica ó $VO_2\text{max}$. Así, todos los estudios muestran que esta modalidad de entrenamiento es altamente eficaz para la mejora del consumo máximo de oxígeno ($VO_2\text{max}$). En el contexto de la periodización más clásica y habitual del entrenamiento aeróbico, el HIT suele introducirse una vez que se logra una buena base aeróbica, es decir, se aplica después de mejorar la capacidad aeróbica o transición aeróbica-anaeróbica. En definitiva, “*el volumen deja paso a la intensidad*” ó “*la cantidad se continua con la calidad del entrenamiento*”. La cuestión es: dado que el entrenamiento de volumen (en torno al umbral láctico) es muy eficaz para mejorar la capacidad de sostener un ejercicio a alta intensidad durante un tiempo prolongado, es decir la capacidad aeróbica máxima, teniendo como objetivo acercarse al máximo al techo del rendimiento aeróbico ($VO_2\text{max}$), ¿no es más lógico tratar de alcanzar primero ese techo máximo ($VO_2\text{max}$) a través de la aplicación del HIT, para más tarde aplicar el entrenamiento de volumen con el objetivo de mejorar el % $VO_2\text{max}$?. Está claro que ambas modalidades de entrenamiento deben coexistir durante todo el proceso del entrenamiento, pero quizás deberíamos cuestionar el modelo clásico de aplicación del HIT en la periodización general. En el ámbito de la salud, y en la aplicación en ciertos enfermos, el entrenamiento debuta directamente con aplicación de HIT, sin pasar por esa “*construcción de base aeróbica*” tan clásica, con excelentes resultados sobre factores de riesgo o pronóstico. Lo que planteo a los entrenadores es una reflexión fisiológica conjunta sobre un cambio de paradigma de aplicación del HIT en el contexto de la resistencia aeróbica.

HIPOTENSIÓN POST-EJERCICIO Y HIT

El ejercicio provoca de manera fisiológica una respuesta hipotensora que habitualmente se mantiene 24 h, siendo una de las razones por la que a los hipertensos se les recomienda frecuencia diaria de ejercicio. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Angadi y col, 2015; *J Strength Cond Res 17-mar*) en el que los investigadores examinaron los efectos de tres sesiones de ejercicio, diferentes en intensidad, sobre la hipotensión post-ejercicio (PEH). Las condiciones fueron: **1)** Control; **2)** 30 min de ejercicio en estado estable (SSE) al 75-80% FCmax; **3)** Ejercicio interválico aeróbico (HIT), 4 min al 90-95% FCmax, con 3 min de recuperación activa; y **4)** Ejercicio interválico de sprint (SIE), 30 s sprint Wingate, separados por 4 min de recuperación activa. El ejercicio se realizó en un cicloergómetro, y la presión arterial (PA) fue evaluada cada 15 después de finalizar el ejercicio hasta 3 h posterior. Los resultados mostraron que durante las 3 h post-ejercicio la presión arterial sistólica (PAS) y la diastólica (PAD) fueron menores en las tres condiciones de ejercicio vs control. Solo el HIT se asoció con PAS y PAD descendidas más allá de las 2 h post-ejercicio respecto al control.

HIT CON BAJOS NIVELES DE HIDRATOS DE CARBONO

La realización de entrenamiento de resistencia aeróbica con bajas concentraciones de hidratos de carbono hepáticas y musculares ha mostrado su eficacia en diferentes adaptaciones metabólicas del músculo esquelético, aunque los efectos sobre el rendimiento parecen menos claras. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Cochran y col, 2015; *Int J Sport Nutr Exerc Metab 26-mar*) cuyo objetivo fue examinar las consecuencias de reducir la disponibilidad de hidratos de carbono (CHO) entre dos sesiones de HIT sobre el rendimiento y el contenido mitocondrial.

Sujetos activos (VO_2 max: 44 ± 9 ml/kg/min) fueron distribuidos aleatoriamente en dos grupos, realizando 1 sesión de HIT cada 6 días durante 2 semanas (5×4 min ciclismo $60\%W_{pico}$, con 2 min de recuperación). La sesión de HIT fue doble con 3 h de intervalo. Un grupo ingirió 195 g CHO y el otro 17 h CHO durante las 3 h de intervalo entre los entrenamientos. Los resultados mostraron que la mejora del rendimiento observada fue mayor en el grupo que ingirió menos CHO entre sesiones de entrenamiento, aunque el incremento del contenido mitocondrial y actividad enzimática fue similar. Este es el primer estudio que muestra que un entrenamiento a corto plazo puede mejorar el rendimiento, y que esta mejora es superior si el HIT se desarrolla en un entorno menos favorable de disponibilidad de hidratos de carbono.

EL HIT REDUCE EL RENDIMIENTO ANAERÓBICO

El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIT) es muy eficiente en la mejora de la capacidad cardiovascular y función aeróbica; así, independientemente de la duración de los intervalos el HIT mejora el metabolismo oxidativo, reduciendo al mismo tiempo la proporción de cadenas pesadas de miosina IIX (fibras IIX). Estas adaptaciones mejoran la resistencia aeróbica de forma significativa. La aplicación de HIT y las adaptaciones fisiológicas logradas pueden sin embargo reducir la capacidad y rendimiento anaeróbico. De hecho se ha comprobado que solo 4 semanas de aplicación de HIT lleva a reducir el tiempo hasta la fatiga por encima de la potencia crítica (W'), hecho que para muchos deportes puede perjudicar al rendimiento. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Mueller y col, 2015; PLOS ONE 13-feb) en el que los autores comprobaron cómo después de 8 semanas de HIT (4 min \times 4 min) los sujetos mostraron un descenso del W' ($-14,3\%$), momento máximo voluntario ($-8,6\%$), tasa de desarrollo

de la fuerza ($-10,5\%$), potencia máxima de salto ($-6,3\%$) y área de fibras tipo IIA ($-6,4\%$). La potencia crítica, el VO_2 pico, gasto cardíaco máximo y relación capilares/fibra muscular, aumentaron significativamente después de HIT. En los grupos que aplicaron HIT se produjo un descenso del área de sección de las fibras IIA reduciendo con ello la fuerza aplicada.

LA VIBRACIÓN PREVIENE LA REDUCCIÓN DEL RENDIMIENTO ANAERÓBICO ASOCIADO AL HIT

Ayer comentábamos que la aplicación de HIT ($3-4$ min de intervalos) parece asociarse con un descenso del rendimiento anaeróbico. En ese mismo estudio (Mueller y col, 2015; PLOS ONE 13-feb) los autores propusieron la utilización de vibración (plataforma vibratoria) en los descansos podría atenuar el descenso de la capacidad anaeróbica. El objetivo de esta investigación fue estudiar los efectos de reemplazar el periodo de descanso activo entre intervalos por vibración durante un protocolo de 4×4 min. Participaron 33 sujetos jóvenes físicamente activos que fueron asignados aleatoriamente a diferentes grupos: HIT convencional (4×4), HIT con 3 min de vibración a 18 Hz (HIT-18) o 30 Hz (HIT-30) en lugar de reposo activo, y un grupo al que solo se administró vibración (C-30). Los resultados después de 8 semanas de entrenamiento mostraron un descenso de los indicadores de capacidad anaeróbica y área de fibras IIA solo en el grupo que aplicó HIT convencional. La potencia crítica, el VO_2 pico, gasto cardíaco máximo y relación capilares/fibra muscular, aumentaron significativamente después de HIT, HIT-18 y HIT-30, sin diferencias entre grupos. Los autores sugieren que la vibración previno el descenso de la capacidad y rendimiento anaeróbico asociado al HIT, sin interferir en las adaptaciones aeróbicas. Por lo tanto, los ciclistas de competición y otros atletas de resistencia aeróbica podrían beneficiarse de reemplazar los intervalos de descanso activo en el HIT, por un protocolo de vibración.

RESPUESTAS MOLECULARES AL ENTRENAMIENTO CONCURRENTE

El entrenamiento concurrente se refiere a la combinación en una misma sesión de entrenamiento de fuerza y resistencia aeróbica. En los últimos meses distintas investigaciones han aportado datos de posibles interferencias en las adaptaciones asociadas, así como distintas sugerencias del orden de ejecución idóneo. En este sentido el entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIT) provoca adaptaciones similares al entrenamiento continuo de resistencia aeróbica, pudiendo ser una alternativa en el entrenamiento concurrente. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Pugh y col, 2015; Physiol Rep 3-abr) cuyo objetivo fue examinar la influencia de una sesión de HIT sobre las respuestas moleculares al ejercicio de fuerza realizado con anterioridad, en músculo esquelético no entrenado. Los sujetos participantes en el estudio realizaron un ejercicio de fuerza (4×8 extensión de pierna al 70% 1RM (RE) ó el mismo RE seguido de HIT (10×1 min 90% FCmax) (RE+HIT). Se obtuvieron muestras de músculo por biopsia del vasto lateral antes, 2 y 6 h post-RE para determinar la fosforilación de proteínas y mRNA. Los resultados mostraron que la fosforilación de Akt disminuyó a las 6 h en ambos protocolos. La fosforilación de mTOR fue mayor en RE+HIT. Todas las variantes PGC- 1α mRNA aumentaron a las 2 h en RE+HIT, con PGC- 1α y PGD- 1α -ex1b elevadas a las 6 h, mientras que RE solo indujo aumentos a las 2 h y 6 h para PGC- 1α -ex1b. MuRF-1 se elevó más en RE+HIT respecto a RE a las 2 y 6 h post-ejercicio. En definitiva, los resultados sugieren la ausencia de una interferencia aguda sobre los procesos de señalización proteica y expresión mRNA, de tal suerte que plantean al HIT como una alternativa al ejercicio de resistencia aeróbica cuando se realiza después del entrenamiento de fuerza en la misma sesión.

BETA-ALANINA Y ENTRENAMIENTO DE SPRINT

La suplementación con beta-alanina aumenta el contenido de carnosina intramuscular, y esta se la ha relacionado como buffer para acidosis y regulador en la recaptación del calcio por el retículo sarcoplásmico lo que mejoraría el tiempo de recuperación entre contracciones. El entrenamiento interválico de sprint (SIT) ha mostrado mejoras de la capacidad oxidativa muscular. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Cochran y col, 2015; Int J Sports Nutr Exerc Metab 22-may) cuyo objetivo fue verificar si la suplementación con beta alanina (ALA) podría aumentar la capacidad de trabajo durante SIT y aumentar las adaptaciones musculares y el rendimiento. Veinticuatro sujetos no entrenados (VO_2 max: 50 ± 6 ml/kg/min) ingirieron $3,2$ g/día de ALA o placebo (PLA) durante 10 semanas (12 sujetos por grupo). Después de 4 semanas de suplementación de base los sujetos comenzaron 6 semanas de SIT. Cada una de las 3 sesiones semanales de HIT consistió en 4-6 test de Wingate (30 s máxima intensidad en cicloergómetro con 4 min de recuperación). Antes y después del periodo de 6 semanas de intervención SIT los sujetos completaron una contrarreloj simulada de 250 KJ y test de sprint repetidos. Además se obtuvieron biopsias musculares del vasto lateral que mostraron que la carnosina intramuscular aumentó un 33 y 52%, respectivamente, después de 4 t 10 semanas de suplementación, no modificándose en el grupo PLA. El entrenamiento SIT mejoró los marcadores de contenido mitocondrial, incluyendo actividad de la citocromo oxidasa y beta-hidroxiacil-CoA deshidrogenasa, así como el VO_2 max ($+9\%$); también mejoró la capacidad de sprint repetidos y la contrarreloj de 250 KJ, pero en todos estos cambios no hubo diferencias entre grupos (ALA vs PLA).

HIT Y SALUD CEREBRAL

El factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) es una proteína de la familia de las neurotrofinas que contribuye a la supervivencia de las neuronas. Las neurotrofinas, entre otras funciones, impiden a las neuronas que inicien la muerte programada, y por tanto aumentan su supervivencia. También inducen la diferenciación celular de células progenitoras para formar neuronas. Se sabe desde hace tiempo que el ejercicio puede tener un efecto positivo sobre el cerebro activando el BDNF, de hecho se ha observado una relación lineal entre la intensidad del ejercicio y los niveles de BDNF a corto plazo. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Saucedo Marquez y col, 2015; *J Appl Physiol* 15-oct) cuyo objetivo fue comparar dos protocolos de ejercicio de alta intensidad sobre la respuesta del BDNF al ejercicio. Los participantes realizaron un ejercicio continuo al 70% Wmax y un ejercicio interválico de alta intensidad (HIT) al 90% Wmax en periodos de 1 min, con 1 min de recuperación. Ambos protocolos tuvieron una duración de 20 min. Los resultados mostraron una cinética de respuesta del BDNF similar en ambos protocolos, con los valores más altos de BDNF al final del periodo de ejercicio. Ambos protocolos se asociaron a aumentos de BDNF, alcanzando valores más altos con el protocolo HIT ($p=0,035$). Los resultados sugieren que el HIT es más efectivo para aumentar los niveles séricos de BDNF. Adicionalmente el 73% de los participantes prefirieron el protocolo HIT.

HIT VS ENTRENAMIENTO CONTINUO EN OBESOS

Diferentes estudios han mostrado en los últimos meses que el entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIT) puede ser una opción válida como modalidad de ejercicio eficaz para ayudar a perder peso corporal. Recientemente se han publicado los resultados de un

estudio (Martins y col, 2015; *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 19-oct) cuyo objetivo fue determinar los efectos de 12 semanas de diferentes entrenamientos isocalóricos: de alta intensidad (HIT) o continuo de moderada intensidad (MICT) (o HIT de corta duración, 1/2HIT, con la mitad de déficit calórico) en cicloergómetro, sobre el peso y composición corporal, Fitness cardiovascular, tasa metabólica de reposo (RMR), cociente respiratorio (RER), niveles de actividad física y respuesta de la insulina en ayunas y postprandial en sujetos obesos sedentarios. El ejercicio fue realizado 3 días/semana durante 12 semanas. Los resultados mostraron una reducción significativa del peso corporal, circunferencia de cintura y cadera, y masa grasa en tronco y piernas, junto con un aumento de la grasa libre de grasa en tronco y piernas, así como mejora del VO_2 max. No se observaron diferencias entre grupos. No hubo modificaciones en RMR, RER, o niveles de insulina en ayunas y sensibilidad a la insulina. Los autores sugieren que protocolos de ejercicio isocalóricos, sean continuos moderados, sean interválicos de alta intensidad (HIT y 1/2HIT) ejercen similares mejoras metabólicas o cardiovasculares en sujetos sanos obesos y sedentarios.

¿TOMAR BICARBONATO ANTES DEL HIT?

El entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIT) es utilizado con mucha frecuencia en deportistas de resistencia aeróbica con el objetivo de mejorar tanto la capacidad oxidativa muscular, como la cardiorrespiratoria. El primero de esos objetivos está muy ligado a la activación de la biogénesis mitocondrial asociada, aunque no en exclusiva, a esta modalidad de entrenamiento. Estudios en ratas han comprobado que la administración crónica de bicarbonato aumenta la adaptación mitocondrial. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Percival y col, 2015; *J Appl Physiol* 17-sep) cuyo objetivo fue valorar la

hipótesis de que la ingesta de bicarbonato sódico antes de una sesión de HIT podría provocar una mayor activación de la cascada de señalización y expresión génica de la biogénesis mitocondrial. El grupo de hombres voluntarios de este estudio realizaron dos sesiones de HIT (10x60 s al 90% FCmax, con 60 s de recuperación) con una separación de 1 semana. De manera aleatoria y con diseño doble ciego los sujetos ingirieron un total de 0,4 g/kg de bicarbonato sódico antes del ejercicio HIT (BICARB) o una cantidad equimolar de placebo (PLAC). Los resultados mostraron que durante el ejercicio la utilización de glucógeno muscular y la acumulación de lactato en sangre fueron mayores en BICARB vs PLAC. Por otra parte y como hallazgo más significativo, el incremento del mRNA PGC-1 α después de 3 h de recuperación fue más alto en BICARB vs PLAC. Los autores concluyen que la suplementación con bicarbonato sódico antes de una sesión de HIT altera la expresión mRNA de la proteína reguladora clave de la biogénesis mitocondrial.

HIT E HIPOTENSIÓN POST-EJERCICIO EN SOBREPESO/OBESIDAD

Una única sesión de ejercicio provoca un descenso significativo de la presión arterial post-ejercicio, especialmente en pacientes hipertensos. Este fenómeno se denomina “hipotensión post-ejercicio” y está descrita desde los años 70 del siglo pasado. Entre los mecanismos propuestos para justificar este comportamiento, el papel de los barorreflejos parece clave. Este efecto hipotensor post-ejercicio tiene una duración de aproximadamente 24 h, por lo que en hipertensos se recomienda ejercicio diario con el fin de aprovechar esta respuesta fisiológica. Los estudios sobre los efectos del entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIT) sobre los valores de la presión arterial (BP) post-ejercicio son escasos. Recientemente, se han publicado los resultados de un estudio (Bonsu y

Terblanche, 2015; *Eur J Appl Physiol* 21-ago) cuyo objetivo fue investigar los efectos del entrenamiento y desentrenamiento de un entrenamiento con HIT sobre la respuesta de la hipotensión post-ejercicio (PEH) en mujeres jóvenes con sobrepeso u obesidad. Las participantes realizaron 6 sesiones de HIT sobre un tapiz rodante en 2 semanas (semana 1: 10 x 1 min y semana 2: 15 x 1 min, al 90-95% FCmax, separadas por 1 min de recuperación activa al 70% FCmax). Posteriormente se estableció un periodo de desentrenamiento de 2 semanas. La BP post-ejercicio se midió 1 h después de la primera y última sesión del HIT. Las pacientes fueron normotensas, observando que la respuesta hipotensora post-ejercicio fue ligeramente mayor después del periodo de entrenamiento en comparación con los valores previos (5,04 y 4,28 mmHg, respectivamente). Recordar que un descenso de >3mm Hg se considera clínicamente significativo. Después de 2 semanas de desentrenamiento, la PEH no fue clínicamente significativa (1,08 mmHg). Por otra parte, la magnitud de la respuesta de la presión arterial diastólica fue solo significativa después del periodo de entrenamiento con HIT (4,26 mmHg) y se mantuvo después del periodo de desentrenamiento (3,87 mmHg). Los autores sugieren que 6 sesiones de HIT fueron suficientes para alcanzar una respuesta clínica significativa en la respuesta hipotensora post-ejercicio en mujeres jóvenes con obesidad o sobrepeso; estos efectos se perdieron con 2 semanas de desentrenamiento.

HIT Y ADAPTACIONES HEMATOLÓGICAS EN ATLETAS ENTRENADOS

El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIT) ha mostrado una gran efectividad en la mejora de los valores del consumo de oxígeno máximo (VO_2 max), especialmente en personas de baja condición física. Sin embargo, no se conoce bien el alcance que esta

modalidad de entrenamiento puede llegar a tener en la mejora de variables hematológicas y en el propio $VO_2\text{max}$ de atletas bien entrenados. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Menz y col, 2015; *Eur J Appl Physiol* 12-jul) en el que los autores examinaron las adaptaciones hematológicas (masa de hemoglobina, Hb-mass, volumen sanguíneo, BV y volumen plasmático, PV) y sus efectos sobre el $VO_2\text{max}$ de atletas entrenados. Participaron atletas bien entrenados ($VO_2\text{max}$: $63,7 \pm 7,7$ ml/min/kg) siendo asignados aleatoriamente a un grupo de entrenamiento de HIT (GHIT) o a un grupo control (CON). En un periodo de 3 semanas el grupo GHIT realizó 11 sesiones de HIT (4 x4 min al 90-95% FCmax, con 4 min de recuperación activa). El grupo CON continuó con el entrenamiento habitual. Los resultados no mostraron cambios significativos en Hb-mass, BV y PV en ningún grupo. En el GHIT el $VO_2\text{max}$ aumentó un 3,5% pero sin mostrar un efecto interactivo con el grupo CON. Por otra parte, si se observó un descenso significativo de la FCmax en el GHIT del 2,3%. En resumen, 11 sesiones de HIT aplicadas en atletas entrenados no parecen modificar variables hematológicas, ni aumentar el $VO_2\text{max}$.

DORMIR CON BAJOS NIVELES DE GLUCÓGENO Y RENDIMIENTO

La manipulación de la ingesta de hidratos de carbono (CHO) en relación al entrenamiento se ha mostrado como un elemento que interfiere en las adaptaciones conseguidas. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Marquet y col, 2016; *Med Sci Sports Exerc* 7-ene) cuyo objetivo fue investigar los efectos de una periodización de estrategia nutricional sobre el rendimiento de atletas de resistencia aeróbica entrenados. 21 triatletas con un $VO_2\text{max}$ medio de 58,7 ml/kg/min fueron distribuidos en 2 grupos: un grupo “sleep-low” (SL) y

un grupo control (CON). Ambos grupos consumieron la misma cantidad diaria de CHO (6 g/kg/día) pero con diferente ordenación en su ingesta diaria. La estrategia “sleep-low” consistió en una intervención de entrenamiento/dieta de 3 semanas que comprendía 3 bloques de manipulación dieta/ejercicio: **1)** “train-high”, entrenamiento con intervalos de alta intensidad (HIT) por la tarde/noche con alta disponibilidad de CHO; **2)** restricción de CHO durante la noche (“sleeping-low”); y **3)** sesiones “train-low” con baja disponibilidad de CHO endógeno y exógeno. El grupo CON realizó el mismo programa de entrenamiento pero con alta disponibilidad de CHO en todas las sesiones de ejercicio y sin restricción de CHO nocturna. Los resultados mostraron una significativa mejora de la eficiencia durante ciclismo a intensidad submáxima en el grupo SL vs CON. El grupo SL también aumentó el tiempo hasta el agotamiento a intensidad supramáxima (150% W_{max}) y el rendimiento en prueba simulada de 10 k, en relación al grupo CON. La masa grasa descendió significativamente en SL, pero no la masa libre de grasa.

HIT EN TRIATLETAS ADOLESCENTES

Los triatletas realizan elevados volúmenes de entrenamiento semanal y ello puede causar fatiga y lesiones. El entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIT) es una modalidad de entrenamiento que puede inducir algunas adaptaciones que tradicionalmente se logran con el entrenamiento de resistencia aeróbica continuo. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Lee y col, 2016; *J Sports Med Phys Fitness* 21-ene) cuyo objetivo fue investigar los efectos de 2 semanas de HIT sobre la capacidad de ejercicio y respuesta hormonal de jóvenes triatletas. Participaron 12 triatletas adolescentes, que realizaron 18 sesiones de HIT de carrera, ciclismo y natación en 2 semanas. Los resultados mostraron que el $VO_2\text{pico}$

mejoró significativamente después del entrenamiento. La potencia media y trabajo total durante un test de 6x10 s de sprint mejoraron significativamente. Además, en tiempo en 750 m en natación y los 20 k en ciclismo mejoraron también significativamente, mientras que el tiempo en 5 k de carrera no se modificó. La concentración de amonio aumentó respecto al pre-entrenamiento, mientras que la creatín kinasa descendió significativamente.

ENTRENAMIENTO BASADO EN LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA

La variabilidad de la frecuencia cardiaca (HRV) se define como la variación de la frecuencia del latido cardiaco durante un intervalo de tiempo definido con anterioridad (nunca superior a 24 horas) en un análisis de períodos circadianos consecutivos. La valoración de la HRV ha mostrado un amplio potencial en la ayuda de prescripción de entrenamiento. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Vesterinen y col, 2016; *Med Sci Sports Exerc* 24-feb) cuyo objetivo fue investigar la efectividad de la utilización de HRV en la prescripción de entrenamiento de resistencia aeróbica. Participaron 40 sujetos corredores que fueron divididos en un grupo de análisis de HRV (EXP) o un grupo tradicional (TRAD). Después de 4 semanas de periodo de entrenamiento, el grupo TRAD entrenó de acuerdo con un plan definido con antelación incluyendo 2-3 sesiones de ejercicio moderado (MOD) y entrenamiento intervalico de alta intensidad (HIT) por semana durante 8 semanas. Por su parte, la distribución semanal de MOD y HIT en el grupo EXP se basó en la valoración de la HRV medida cada mañana, de tal manera que en función de esa valoración se programó MOD o HIT. Se valoró el $VO_2\text{max}$ y el rendimiento en 3 k, antes y después del periodo de entrenamiento. Los resultados mostraron que el número de sesiones MOD y HIT fue menor en EXP que en

TRAD. No se observaron otras diferencias en el entrenamiento entre grupos. El tiempo en 3 k mejoró en EXP, pero no en TRAD. $VO_2\text{max}$ mejoró en ambos grupos de manera significativa. Los autores sugieren que la HRV tiene un potencial no bien explorado en la prescripción del entrenamiento de resistencia aeróbica al poder individualizar las cargas de intensidad en cada sesión semanal.

RECUPERACIÓN POST-HIT ACTIVA VS PASIVA Y MARCADORES DE FATIGA

El número ideal de sesiones de HIT en un microciclo (semana) depende del momento de la temporada, perfil del atleta y condiciones de aplicación, pero habitualmente no supera las 2 sesiones semanales. En ocasiones los entrenadores establecen microciclos con un mayor número de sesiones de HIT (hasta 5 sesiones/semana) aunque no está claro la utilidad de tal condensación de entrenamiento de alta intensidad que invariablemente se asocia a fatiga. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Wiewelhove y col, 2016; *Int J Sports Physiol Perform* 21-mar) cuyo objetivo fue investigar el efecto de utilizar recuperación activa post-HIT durante un microciclo de 4 días con siete sesiones de HIT sobre marcadores de fatiga. Participaron tenistas jóvenes (aprox. 15 años) de categoría élite. Después de cada sesión de HIT los sujetos realizaron 15 min de carrera de intensidad moderada (recuperación activa, ACT) o recuperación pasiva (PAS), en dos periodos separados por 4 meses. Se realizaron test de salto contramovimiento (CMJ), concentraciones séricas de creatín quinasa (CK), dolor muscular (DOMS) y percepción de recuperación y estrés, 24 h antes y 24 h después del periodo de entrenamiento. Los resultados mostraron que el microciclo de HIT indujo un descenso significativo del rendimiento en CMJ y percepción de la recuperación, así como un aumento significativo de la CK, DOMS y estrés percibido. No se

observaron diferencias en los marcadores de fatiga evaluados entre el protocolo de recuperación activa vs pasiva. Los autores sugieren que en un protocolo de entrenamiento de HIT condensado como el descrito la intervención activa vs pasiva después de cada sesión no modifica los marcadores de fatiga asociados.

HIT EN DIABETES TIPO 2

El entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIT) se está aplicando desde hace algunos años en distintas patologías sustituyendo o complementando el entrenamiento continuo aeróbico tradicional. La mayor parte de esos estudios confieren al HIT algunas ventajas que hacen interesante contemplar esta modalidad de entrenamiento como una opción en la prescripción de ejercicio. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Alvarez y col, 2016; *Int J Sports Med* 3-jun) cuyo objetivo fue investigar los efectos de aplicación de HIT de bajo volumen sobre factores de riesgo cardiometabólico y capacidad de ejercicio de mujeres con diabetes tipo 2 (T2DM). Participaron en el estudio mujeres con sobrepeso u obesidad diagnosticadas de diabetes tipo 2, que fueron asignadas a un programa de HIT (3 sesiones/semana) o a un grupo control (CON). Antes y después de las 16 semanas de entrenamiento se valoraron control glucémico, lípidos, presión arterial, rendimiento aeróbico y medidas antropométricas. Los resultados mostraron mejoras significativas en el grupo HIT en los niveles de glucosa en ayunas, hemoglobina glucosilada, presión arterial sistólica, HDL-colesterol, triglicéridos, rendimiento aeróbico, peso corporal, BMI, circunferencia de cintura y % grasa corporal. Los pacientes además redujeron la dosis diaria de medicación antihiper glucemiante y antihipertensiva durante el periodo de seguimiento. No hubo cambios significativos en el grupo control. Los cambios observados en el grupo HIT se obtuvieron con un tiempo

de ejercicio del 56-62% en relación al recomendado por las guías clínicas de aplicación de ejercicio.

PERIODIZACIÓN DEL ENTRENAMIENTO DE ALTA INTENSIDAD (HIT)

El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIT) es utilizado de forma sistemática desde hace 100 años en el ámbito del deporte de resistencia aeróbica. En los últimos años se discute como organizar de manera más eficaz la periodización de esta modalidad de entrenamiento con el fin de alcanzar las máximas adaptaciones y por consiguiente mejorar el rendimiento. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Sylta y col, 2016; *Med Sci Sports Exerc* 10-jun) cuyo objetivo fue comparar los efectos de tres modelos de periodización de HIT, balanceados por la carga total, pero difiriendo entre ellos en la progresión del plan, sobre las adaptaciones de resistencia aeróbica y el rendimiento. Participaron 63 ciclistas ($VO_2\text{max}$: $61,3 \pm 5,8$ ml/kg/min) que fueron distribuidos aleatoriamente en tres grupos de entrenamiento que se desarrolló en 12 semanas, y que consistió en 24 sesiones de HIT, un alto volumen de entrenamiento de baja intensidad (LIT) y test de laboratorio. El grupo de HIT progresivo (INC) realizó entrenamiento interválico de 4x16 min en las semanas 1 a 4, 4x8 min en las semanas 5 a 8, y 4x4 min en las semanas 9 a 12. El grupo de HIT regresivo (DEC) realizó el orden opuesto al descrito en INC, y el grupo de HIT mixto (MIX) realizó las sesiones con una distribución mixta en todos los mesociclos. Las sesiones de entrenamiento interválico tuvieron carácter de máximo esfuerzo, y se ejecutaron con concentraciones medias de lactato de 4,7, 9,2 y 12,7 mM en 4x16, 4x8 y 4x4, respectivamente. Antes y después del periodo de entrenamiento los ciclistas realizaron diferentes test para medir la potencia media en un test de 40 min ($Power_{40\text{min}}$), potencia máxima en

un test de esfuerzo hasta el agotamiento (PPO), $VO_2\text{pico}$ y potencia asociada a concentración de lactato de 4 mM ($Power_{4\text{mM}}$). Los resultados mostraron que todos los grupos mejoraron entre un 5 y 10% $Power_{40\text{min}}$, PPO y $VO_2\text{max}$ con el entrenamiento, no observando diferencias entre los grupos. Los autores sugieren que distintos modelos de distribución de HIT en mesociclos no parecen tener influencia decisiva en las adaptaciones conseguidas, cuando la carga total de carga de entrenamiento es la misma.

HIT Y SIT EN CICLISTAS DE MONTAÑA

Sabemos que la aplicación de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIT) es imprescindible en los deportes de resistencia aeróbica que buscan el máximo rendimiento. Para algunos existe cierto debate sobre posibles interferencias en las adaptaciones conseguidas al aplicar junto al HIT protocolos SIT (entrenamiento interválico de esprint), aunque lo cierto es que no hay cuerpo de conocimiento suficiente para realizar afirmaciones taxativas en uno y otro sentido. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Hebisz y col, 2016; *Eur J Appl Physiol* 4-jun) cuyo objetivo fue comparar los efectos de dos diferentes modalidades de entrenamiento sobre el $VO_2\text{max}$ y carga de trabajo. Participaron ciclistas de montaña bien entrenados que fueron distribuidos aleatoriamente en 2 grupos. El primero utilizó un entrenamiento convencional de resistencia aeróbica en intensidades moderadas de estado estable e intensidades variables (alta-moderada-baja) que implicaban libremente esfuerzos máximos. El segundo grupo combinó el entrenamiento de resistencia aeróbica con protocolos de HIT (intervalos de 4 min) y SIT (esfuerzos máximos de 30 s). La duración del entrenamiento fue de 8 semanas. Antes y después del periodo de entrenamiento se realizó una

prueba de esfuerzo con análisis de gases respiratorios. Los resultados mostraron que la potencia pico alcanzada en el test aumentó significativamente en ambos grupos, pero el grupo HIT+SIT lo hizo en mayor grado. Aumentos significativos en $VO_2\text{max}$, máxima ventilación pulmonar y volumen sistólico máximo solo se observaron en el grupo HIT+SIT. Los autores concluyeron que la inclusión de HIT + SIT en el esquema de entrenamiento de ciclistas de montaña con años de experiencia indujo efectos fisiológicos positivos sobre el $VO_2\text{max}$ y otras variables fisiológicas importantes para el rendimiento.

INTENSIDAD EN NATACIÓN Y SENSIBILIDAD A LA INSULINA

Uno de los efectos más importantes del ejercicio sobre las alteraciones metabólicas es la mejora en la sensibilidad a la insulina. Diferentes estudios previos han mostrado que la intensidad del ejercicio es una característica importante para optimizar la eficacia del ejercicio sobre esta variable de salud. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Connolly y col, 2016; *Eur J Appl Physiol* 29-jul) cuya hipótesis fue que la natación de bajo volumen y alta intensidad podría tener un mayor impacto sobre la sensibilidad a la insulina y control de la glucemia que un entrenamiento de alto volumen y baja intensidad, en mujeres premenopáusicas inactivas con hipertensión arterial. Las mujeres del estudio fueron distribuidas en tres grupos: CON (control, inactivas); HIT (alta intensidad-bajo volumen. 6-10x 30 s máxima intensidad, con 2 min de recuperación. 86% $FC\text{max}$); LIT (alto volumen-baja intensidad. 1 h al 73% $FC\text{max}$). Los entrenamientos se efectuaron 3 días por semana durante 15 semanas. Los resultados mostraron como después del periodo de entrenamiento en el grupo HIT se produjo un descenso significativo de los niveles de insulina en reposo. Por otra parte, en el test

de tolerancia a la glucosa (OGTT) en el grupo HIT los niveles de glucosa e insulina descendieron significativamente (24% y 10%, respectivamente), no modificándose en los grupos CON y LIT. La sensibilidad a la insulina aumentó significativamente un 22% en el grupo HIT, sin observar cambios en los grupos CON o LIT.

ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE ESPRINT Y ADAPTACIONES FISIOLÓGICAS

El entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HHIT) tiene muchas variantes en función de las variaciones que se realicen en las variables que lo configuran. La duración de los intervalos es una de las variables que pueden hacer variar las adaptaciones alcanzadas en un periodo de entrenamiento. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Chia-Lun y col, 2016; Med Sci Sports Exerc 30-ago*) cuyo objetivo fue determinar cómo diferentes protocolos de HIIT en función de la duración del intervalo se relacionan con las adaptaciones alcanzadas. Los participantes fueron asignados a uno de los siguientes grupos de entrenamiento: HIIT de larga duración (HIIT60s; 8x60 s al 85-90% VO_{2max} con 120 s de recuperación al 30% VO_{2max}), HIIT de corta duración (HIIT10s; 48x10 s al 85-90% VO_{2max} con 20 s de recuperación al 30% VO_{2max}), y grupo control (CON, actividad física regular sin HIIT). Antes y después de 4 semanas de entrenamiento (3 sesiones/semana) los participantes realizaron test incrementales y test de esprint repetidos, para valorar sus capacidades aeróbicas y anaeróbicas. También se evaluaron los pliegues y marcadores sanguíneos. Los resultados mostraron que después del entrenamiento el VO_{2max} aumentó en HIIT60s y HIIT10s, sin cambios en CON. Los valores de los pliegues (% grasa corporal) del abdomen y muslo disminuyeron significativamente en ambos grupos de entrenamiento sin

diferencia entre ellos. Los niveles de lactato en sangre, colesterol, triglicéridos, cortisol e insulina no difirieron entre grupos, pero los valores de testosterona en HIIT10s fueron más altos post-entrenamiento en relación a pre-entrenamiento. El rendimiento en esprint fue mejorado solo en el grupo HIIT60s. En conclusión, los protocolos de HIIT utilizados mostraron adaptaciones similares, pero el rendimiento en test de esprint repetidos solo mejoró en el HIIT largo, lo que refleja una mayor adaptación glucolítica.

HIT POST-ENTRENAMIENTO DE FUERZA: EFECTOS SOBRE FUERZA E HIPERTROFIA

La conveniencia de realizar entrenamientos concurrentes (aeróbico y fuerza) en la misma sesión de entrenamiento se puede debatir ampliamente. Al no existir un único escenario de aplicación tampoco se puede llegar a conclusiones universales, así que, dependiendo de los objetivos, modalidades de entrenamiento, perfil de los sujetos, etc., esta modalidad de entrenamiento interferirá positiva o negativamente en las adaptaciones deseadas. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Tsitkanou y col, 2016; Scand J Med Sci Sports 23-sep*) cuyo objetivo fue investigar si el entrenamiento interválico de alta intensidad en bicicleta realizado inmediatamente después de una sesión de entrenamiento de fuerza podría inhibir el incremento de la fuerza e hipertrofia esperado del entrenamiento de fuerza. Los sujetos participantes del estudio fueron asignados a un grupo de entrenamiento de fuerza (RE) o de entrenamiento de fuerza más entrenamiento interválico de alta intensidad en bicicleta (REC). El programa tuvo una duración de 8 semanas (2 sesiones/semana). Los resultados mostraron que la fuerza muscular y la sección transversal del cuádriceps (CSA) aumentaron de manera similar con ambas intervenciones. El tamaño de las

fibras musculares aumentó de manera similar en RE (tipo I: 13,6%; tipo IIa: 17,6%; tipo IIx: 23,2%) y REC (tipo I: 10,0%; tipo IIa: 14,8%; tipo IIx: 20,8%). La densidad capilar y la capacidad aeróbica estimada aumentaron solo en el grupo REC. Esos resultados sugieren que el entrenamiento interválico de alta intensidad realizado después de un entrenamiento de fuerza parece no inhibir las adaptaciones inducidas por el entrenamiento de fuerza después de 2 meses de entrenamiento, mientras que mejora la capilarización muscular y la capacidad aeróbica.

MODELOS DE PERIODIZACIÓN EN HIT

El entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIT) se aplica desde hace años en el ámbito deportivo, pero recientemente se está discutiendo como incluirlo en los diferentes modelos de periodización. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Sylta y col, 2016; Med Sci Sports Exerc 48: 2165*) cuyo objetivo fue comparar los efectos de tres diferentes modelos de periodización, balanceados en la carga total, pero difiriendo en la progresión, sobre las adaptaciones en deportistas de resistencia aeróbica. Participaron ciclistas (VO_{2max} : 61,3 ml/kg/min) que fueron aleatoriamente distribuidos en 3 grupos de entrenamiento. Se realizó un seguimiento de 12 semanas con 24 sesiones de HIT, un entrenamiento de baja intensidad y larga duración y un test de laboratorio. El grupo HIT creciente realizó 4x16 min en las semanas 1-4, 4x8 min en las semanas 5-8, y 4x4 min en las semanas 9-12. El grupo HIT decreciente realizó el entrenamiento en el orden inverso, y el grupo HIT mixto, realizó una organización mixta en todos los mesociclos. Las sesiones de HIT fueron estructuradas como esfuerzos máximos, con valores medios de lactato de 4,7, 9,2 y 12,7 mM/L en 4x16, 4x8 y 4x4 min, respectivamente. Antes y después del periodo de entrenamiento se valoraron:

potencia media en un test de 40 min, pico de potencia durante test incremental hasta el agotamiento, VO_{2pico} y carga a 4 mM/L. Los resultados mostraron que todos los grupos mejoraron entre un 5-10% la potencia media en test de 40 min, W_{max} y VO_{2pico} , no observándose diferencias entre grupos. Los autores sugieren que el modelo de periodización del entrenamiento HIT no parece tener mucho efecto diferencial en las adaptaciones al entrenamiento cuando la carga de trabajo es la misma.

ENTRENAMIENTO CONCURRENTE: ¿HIT Y FUERZA NO INTERFIEREN?

El denominado entrenamiento concurrente se refiere a la combinación de sesiones de ejercicio de resistencia aeróbica con otras de fuerza, aplicadas en una misma sesión o en sesiones diferentes en el mismo día o en días diferentes. Hay mucho publicado sobre este tema, pero debido a la enorme variedad de combinaciones, tanto en el tiempo de aplicación, como en las modalidades de entrenamiento aplicados, es imposible tener una única conclusión. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Fyfe y col, 2016; Front Physiol 7: 487*) cuyo objetivo fue determinar el efecto del entrenamiento concurrente utilizando entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIT) o entrenamiento continuo moderado (MICT) sobre la fuerza máxima, salto contramovimiento (CMJ) y adaptaciones en la composición corporal, comparado con únicamente sesiones de entrenamiento de fuerza (RT). Participaron sujetos físicamente activos de 30 años de edad media con 44 ml O_2 /kg/min de VO_{2max} que realizaron durante 8 semanas (3 sesiones/semana) diferentes entrenamientos: **1)** HIT combinado con RT (grupo HIT+RT); **2)** MICT combinado con RT (grupo MICT+RT); ó **3)** RT únicamente (grupo RT). Los resultados mostraron una mejora del 1RM de prensa de piernas en RT (+38%) y HIT+RT

(+28,7%) y MICT+RT (27,5%), si bien la magnitud del cambio fue mayor en RT frente a HIT+RT ó MICT+RT. No hubo diferencias significativas entre grupos en los valores de 1RM de press de banca. RT indujo mayores ganancias en CMJ frente a HIT+RT y MICT+RT. La masa libre de grasa de la parte inferior del cuerpo aumentó de manera similar en RT y MICT-RT, siendo el cambio menor en HIT+RT. Los autores sugieren que el entrenamiento aeróbico, sea continuo o interválico, interfiere negativamente en la mejora de la fuerza y rendimiento del salto contramovimiento, en comparación con el entrenamiento de fuerza aislado. Los resultados indican además que la intensidad del entrenamiento aeróbico no es un factor crítico en esa interferencia.

RECUPERACIÓN DE LA FRECUENCIA CARDIACA CON EL ENTRENAMIENTO EN PACIENTES CON RESISTENCIA A LA INSULINA

La monitorización de la recuperación de la frecuencia cardíaca después de ejercicios bien controlados en intensidad y duración, no es muy utilizada como índice de buena adaptación al entrenamiento. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Alvarez y col, 2016; *J Sports Med Phys Fitness 8-sep*) cuyo objetivo fue valorar los efectos de tres programas de entrenamiento en la adaptación de la recuperación de la frecuencia cardíaca en pacientes con resistencia a la insulina. Participaron 43 mujeres con resistencia a la insulina, que fueron asignadas a uno de los siguientes grupos: **1)** HIT; **2)** entrenamiento de fuerza, ST; **3)** MIXT: HIT+ST y **4)** grupo control. La frecuencia cardíaca fue medida en reposo (HRrest), durante un test de marcha de 2 k (UKKT) (HR media, HRDE y HRmáxima (HRMDE) y durante la recuperación a los 1, 2 y 3 min post-UKKT. Los resultados mostraron que el HIT disminuyó significativamente HRrest y HRDE. MIXT también disminuyó HRDE, mientras que HRDE y HRMDE aumentaron en el grupo

control. Además, se redujo la frecuencia cardíaca de recuperación a los 1, 2 y 3 min post-ejercicio tanto después de HIT, como después de MIXT. El grupo control aumentó los valores de la frecuencia cardíaca de recuperación. Los autores sugieren que el entrenamiento HIT se asoció a adaptaciones cardiovasculares que se reflejaron en una reducción de la frecuencia cardíaca en reposo, durante el ejercicio y en recuperación, y que el entrenamiento de fuerza añadido potenció esas adaptaciones.

HIT Y ADAPTACIONES FISIOLÓGICAS Y HORMONALES EN CICLISTAS

La aplicación de HIT en el entrenamiento deportivo de resistencia aeróbica es obligada, pero a pesar de que se aplica desde hace décadas no se conoce bien la secuencia de adaptaciones asociadas al HIT a través del tiempo. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Sylta y col, 2017; *Med Sci Sports Exerc 23-ene*) cuyo objetivo fue investigar la secuencia de adaptaciones fisiológicas y hormonales cada 4 semanas de aplicación del HIT durante un periodo de 12 semanas en grupos con diferentes estructuras de entrenamiento. Participaron ciclistas bien entrenados que realizaron 12 semanas de intervención que consistió en 2-3 sesiones de HIT por semana, además de entrenamiento de baja intensidad. Los grupos fueron emparejados por volumen total de entrenamiento. Un grupo entrenó HIT ascendente (INC) realizando 4x16 min en las semanas 1 a 4, 4x8 min en las semanas 5 a 8, y 4x4 min en las semanas 9 a 12. El grupo de HIT descendente (DEC) realizó las sesiones en orden inverso al grupo INC. Finalmente, un tercer grupo (MIX) realizó las sesiones en distribución mixta durante las 12 semanas. Los resultados mostraron que los grupos INC y MIX alcanzaron más del 70% de los cambios en la potencia asociada a 4 mM/l de lactato y VO₂max, en las primeras 4 semanas de entrenamiento, mientras que el grupo DEC solo llegó al

34-38%. Por otra parte, INC se asoció a mayores mejoras frente a DEC durante las semanas 1 a 4 en potencia asociada a 4 mM/l de lactato y VO₂max. Todos los grupos aumentaron de forma similar la potencia pico durante las semanas 1 a 4 (64-89% del cambio total). En todos los grupos disminuyó la testosterona, y la relación testosterona/cortisol, y aumentó la IGF-1 durante las semanas 1 a 4. Los autores sugieren que la mayoría de los cambios fisiológicos derivados del HIT se alcanzan en las primeras semanas de entrenamiento, y que la realización de intervalos de 4x16 min parece más eficaz que la aplicación de 4x4 min.

ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE POTENCIA DE ALTA INTENSIDAD

Aunque habitualmente nos referimos al entrenamiento interválico de alta intensidad como HIIT ó HIT, en realidad es un término que afecta a más modalidades de entrenamiento. Así, el HIIT se refiere al entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad, mientras que existen otras modalidades de entrenamiento interválicas de alta intensidad referidas al metabolismo glucolítico o a la fuerza muscular. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Romero-Arenas y col, 2017; *J Strength Cond Res 11-ene*) cuyo objetivo fue determinar la eficacia de un entrenamiento interválico de potencia de alta intensidad (HIPT) frente a un programa de potencia tradicional (TPT) sobre el rendimiento aeróbico y de potencia. Los voluntarios fueron asignados aleatoriamente en tres grupos. Un grupo realizó el entrenamiento de potencia tradicional (TPT), el segundo grupo realizó un entrenamiento de potencia organizado en circuito (HIPT), y el tercero sirvió como grupo control (CON). El entrenamiento consistió en 3 sesiones a la semana durante 6 semanas. El grupo TPT realizó 3-5 series de cada ejercicio con 90 s de recuperación entre ejercicios, mientras que el grupo HIPT

realizó un circuito (15 s de recuperación entre ejercicios). Se midió la velocidad aeróbica máxima (MAS), test de Wingate, test de alto contramovimiento (CMJ) y curva de carga-potencia en press de banca. Los resultados mostraron que ambos protocolos de entrenamiento incrementaron la producción de potencia en el test de Wingate, altura y potencia en CMJ y potencia pico en la relación carga-potencia. Sin embargo, solo el grupo HIPT mejoró significativamente la MAS. Los resultados sugieren que el HIPT puede ser tan eficaz como el TPT para mejorar el rendimiento de potencia en jóvenes adultos. Además, solo el HIPT mejoró la velocidad aeróbica máxima.

HIIT EN PACIENTES DIABÉTICOS TIPO 2

El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) ha mostrado su eficacia y seguridad en diferentes patologías. Aún no se ha establecido con suficiente evidencia como el HIIT afecta a los factores de riesgo asociados a la diabetes tipo 2 (TD2). Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Stoa y col, 2017; *Eur J Appl Physiol 3-feb*) cuyo objetivo fue investigar los efectos del HIIT sobre el VO₂max, hemoglobina glicosilada tipo A1C (HbA1c), oxidación de las grasas (FatOx), pero corporal (BW), %grasa corporal (%BF), umbral láctico (LT), presión arterial (BP) y perfil lipídico (BLP) en personas con diabetes tipo 2. Los resultados fueron comparados con un entrenamiento de moderada intensidad. El entrenamiento duro 12 semanas. HIIT consistió en 4x4 min caminando o corriendo cuesta arriba al 85-95% de la frecuencia cardíaca máxima, mientras que MIT consistió en caminar de forma continua al 70-75% de FCmax. Los resultados mostraron un incremento del 21% en VO₂max y una reducción de la HbA1c de 0,58% en el grupo que entrenó HIIT. BW y BMI se redujeron de forma significativa un 1,9%. Esas mejoras fueron significativamente diferentes en comparación al grupo MIT. El resto de

factores de riesgo mejoraron con ambos protocolos sin diferencias significativas entre ellos. Al considerar a todo el grupo se observó una correlación significativa entre los cambios en $VO_2\text{max}$ y el cambio en HbA1c. Los autores concluyen que el HIIT es una modalidad de ejercicio efectivo para mejorar el fitness aeróbico y reducir los factores de riesgo asociados a la diabetes tipo 2.

HIIT VS ENTRENAMIENTO CONTINUO: RENDIMIENTO Y FATIGA NEUROMUSCULAR

El entrenamiento de alta intensidad induce fatiga periférica y central; sin embargo, los efectos del entrenamiento de resistencia aeróbica sobre esos mecanismos de fatiga no están bien aclarados. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (O'Leary y col, 2017; *Scand J Med Sci Sports* 16-feb) cuyo objetivo fue comparar los efectos de un entrenamiento de resistencia en ciclismo de diferentes intensidades sobre la capacidad de rendimiento en alta intensidad y los mecanismos de fatiga central y periférica asociados. Los sujetos voluntarios fueron asignados aleatoriamente a un grupo de entrenamiento HIIT (6-8 x 5 min a intensidad media entre umbral láctico y $VO_2\text{max}$ (50% Δ) o a un grupo de entrenamiento continuo de moderada intensidad (CONT, 60-80 min al 90% de umbral láctico). Se realizaron 2 test de rendimiento (TTE) hasta el agotamiento a intensidad 50% Δ , antes y después del entrenamiento para valorar la capacidad de resistencia; los dos test post-entrenamiento fueron realizados a la misma carga 50% Δ pre-entrenamiento (igual intensidad absoluta) y a la nueva intensidad 50% Δ post-entrenamiento (igual intensidad relativa). Antes y después del ejercicio se valoraron las respuestas de estimulación del nervio femoral y corteza motora para determinar fatiga periférica y central, respectivamente. Los resultados mostraron que el HIIT mejoró el TTE en la misma intensidad absoluta y relativa respecto al pre-entrenamiento (148% y

43%, respectivamente) comparado con CONT (38% y -4%, respectivamente). En comparación con el pre-entrenamiento, HIIT incrementó el nivel de reducción de la respuesta de cuádriceps y atenuó el nivel de reducción de la activación voluntaria, después de TTE en la misma intensidad relativa. Los resultados sugieren que la resistencia a la fatiga central contribuye a la mejora del rendimiento de alta intensidad después de entrenamiento con HIIT.

HIIT CON INTERVALOS DE DIFERENTE DURACIÓN

La duración de los intervalos en una sesión de HIIT ha de situarse entre los 2 y los 4 min. Fuera de ese rango difícilmente se alcanzan VO_2 cercanos a $VO_2\text{max}$. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Víaño-Santamarinas y col, 2017; *J Strength Cond Res* 8-feb) cuyo objetivo fue comparar los efectos de 2 protocolos de HIIT con diferentes duraciones de intervalos (corta, SI y larga, LI), en base a la velocidad de carrera pico en un test intermitente fitness de 30-15 (VIFT) en jugadores de balonmano. Sujetos entrenados fueron aleatoriamente asignados a SI (2 series de 22 intervalos de 10 s al 95% VIFT) ó LI (5 series de 3 min al 85% VIFT). El programa de intervención se desarrolló en dos sesiones semanales durante 6 semanas. Antes y después del periodo de entrenamiento se realizó un test de 10 m de esprint, salto contramovimiento, capacidad de esprint repetidos (RSA) y test 30-15. Los resultados mostraron mejoras en VIFT en SI (8,18%) y LI (8,19%). Los sujetos de ambos grupos mejoraron RSA, salto contramovimiento y test 30-15. No se observaron diferencias en las mejoras obtenidas entre grupos en ninguna variable. Los autores sugieren que ambos protocolos mejoraron la capacidad funcional en la pre-temporada de jugadores de balonmano, pero que el protocolo corto parece preferible por la especificidad en relación a la modalidad deportiva.

DORMIR POCO Y RECUPERACIÓN DE ENTRENAMIENTO

Los efectos de la privación de sueño sobre el rendimiento físico están bien documentados, pero la influencia de la privación del sueño sobre la recuperación de una sesión de ejercicio no ha sido apenas estudiada. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Rae y col, 2017; *Eur J Appl Physiol* 28-feb) cuyo objetivo fue comparar la recuperación en ciclistas de una sesión de entrenamiento aeróbico de alta intensidad (HIIT) después de una noche de sueño normal (CON, 7,56 \pm 0,63 h) o de aproximadamente la mitad del tiempo de sueño habitual (DEP, 3,83 \pm 0,33 h). Participaron ciclistas entrenados que realizaron una sesión de HIIT (Potencia pico, PPO = 4,6 \pm 0,7 W/kg) aproximadamente a las 18:00 h, seguido de una noche de sueño CON ó DEP. La recuperación de la sesión de HIIT se evaluó al día siguiente comparando las variables fisiológicas pre-HIIT de aquellas valoradas 12 y 24 h después de la sesión de entrenamiento. Después de un intervalo de 2 semanas, los ciclistas repitieron el experimento cambiando la condición del sueño. Los resultados mostraron que la PPO se redujo a las 24 h después de la sesión de HIIT en mayor grado en DEP comparado con CON. Los ciclistas acudieron más somnolientos y menos motivados para entrenar a las 24 h del HIIT después de la condición DEP. La reducción de la presión arterial sistólica post-entrenamiento a las 24 h de efectuarlo se observó en CON pero no en DEP. Los autores concluyeron que 1 noche de privación parcial de sueño afectó a la recuperación de una sesión de HIIT en ciclistas.

HIIT Y OXIDACIÓN DE GRASAS

El incremento o mejora de la capacidad de oxidación de las grasas (FatOx) se produce o está vinculado al ejercicio de alto volumen y moderada intensidad, habiendo observado igualmente mejoras

mediante el entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIIT). Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Astorino y col, 2017; *Eur J Appl Physiol* 1-mar) cuyo objetivo fue examinar los cambios en la máxima oxidación de los ácidos grasos (MFO) en respuesta a 20 sesiones de HIIT aplicado con diferentes modelos de periodización. Participaron en este estudio hombres y mujeres físicamente activos que completaron 10 sesiones de HIIT progresivo de bajo volumen sobre un cicloergómetro, después de lo cual los sujetos completaron 10 sesiones adicionales de entrenamiento interválico de esprint (SIT), alto volumen de HIIT o HIIT periodizado, asignando cada grupo de manera aleatoria. Antes y durante el entrenamiento se valoraron MFO, FatOx y oxidación de hidratos de carbono (CHOOx) durante un test de intensidad progresiva hasta el agotamiento. Los resultados mostraron que en comparación al grupo CON, no hubo efectos del HIIT sobre MFO. Se observaron pequeños efectos del HIIT sobre FatOx, si bien las mejoras no fueron clínicamente significativas. Los resultados contraindican lo mostrado por estudios previos, al no observar efectos del HIIT sobre los valores de oxidación de los ácidos grasos.

OXIGENACIÓN CEREBRAL EN CORREDORES KENIATAS DURANTE HIIT

Los corredores keniatas dominan desde hace décadas las pruebas de resistencia aeróbica y sus características fisiológicas han sido y son estudiadas con especial interés con el fin de relacionar las mismas con el rendimiento. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Santos-Concejero y col, 2017; *Eur J Appl Physiol* 20-mar) cuyo objetivo fue caracterizar la respuesta de la oxigenación cerebral (Cox) durante una sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad en atletas keniatas, examinando su relación con el rendimiento en carrera. Participaron 15

corredores que completaron un test de 5 k (TT) y un test de entrenamiento hasta la fatiga sobre un tapiz rodante (intervalos de 1 k a una velocidad un 5% superior al ritmo medio de 5 k TT con 30 s de recuperación hasta la fatiga). Se valoraron los cambios en Cox con espectroscopia a través de cambios en las concentraciones de oxi y desoxihemoglobina ($\Delta[O_2Hb]$ y $\Delta[HHb]$), índice de oxigenación tisular (TOI) e índice de hemoglobina total (nTHI). Los resultados mostraron que el número de intervalos de 1 k fue de $5,5 \pm 1,2$ a una velocidad media de $20,5 \pm 0,7$ km/h. La $\Delta[O_2Hb]$ medida al final de cada intervalo disminuyó progresivamente en cada repetición. $\Delta[HHb]$ incrementó durante cada intervalo hasta el final del test de entrenamiento hasta la fatiga. TOI disminuyó progresivamente desde el inicio del test, mientras que nTHI permaneció estable. El descenso de la oxigenación cerebral durante el test de fatiga se correlacionó negativamente con la velocidad con la que el test fue completado, sugiriendo que los corredores con mejor rendimiento en el test fueron capaces de mantener mejor su Cox, frente a aquellos con menor rendimiento en carrera. Los autores sugieren que los corredores keniatas de elite no pueden mantener la oxigenación cerebral cuando fuerzan la intensidad del ejercicio hasta sus límites fisiológicos.

CARNITINA Y HIIT

El aumento de disponibilidad de carnitina en el músculo esquelético altera el metabolismo muscular durante el ejercicio en estado estable. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Shannon y col, 2017; *Scand J Med Sci Sports* 27-mar) cuyo objetivo fue comprobar si la elevación de la carnitina muscular, y por tanto, la capacidad buffer de los grupos acetilo, pudiera alterar las adaptaciones metabólicas y fisiológicas derivadas de un entrenamiento HIIT de 24 semanas, con cargas al 100% Wmax. Los voluntarios realizaron 2x3 min de

ejercicio en bicicleta al 100% Wmax, separados con 5 min en reposo. Durante el entrenamiento de HIIT que tuvo una duración de 24 semanas, consumieron 80 g de carbohidratos (CHO) o 3 g de L-carnitina + CHO (CARN). Los resultados mostraron que antes de HIIT, la degradación de fosfocreatina muscular (PCr), la glucogenólisis, la activación de PDC y la acetil-carnitina fueron 2,3, 2,1, 1,5 y 1,5 veces mayor, respectivamente en el intervalo 2 comparado con el primero, mientras que la acumulación de lactato tendió a ser 1,5 mayor. Después del HIIT, la carnitina muscular libre fue un 30% mayor en CARN vs CON en reposo, y permaneció un 40% más elevada antes del inicio de los 2 intervalos. Después del 2º intervalo, el contenido en carnitina muscular, la degradación de PCr, la tasa de glucogenólisis, la acumulación de lactato, fueron similares entre CON y CARN, marcadamente menor que antes del entrenamiento de HIIT. VO_2max y Wmax aumentaron de manera similar en CON y CAR, un 9% y 15%, respectivamente. En resumen, el aumento de resíntesis no-mitocondrial de ATP durante el segundo intervalo de ejercicio de alta intensidad se acompañó de un aumento de la acetilación de carnitina. El aumento de carnitina muscular durante 24 h de HIIT no alteró este comportamiento, ni mejoró las adaptaciones metabólicas musculares o el rendimiento más allá de las obtenidas con la aplicación únicamente de HIIT.

HIIT Y EFICIENCIA MECÁNICA

Aunque la aplicación del entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIIT) tiene como principal objetivo la mejora del consumo máximo de oxígeno (VO_2max) y/o la potencia/velocidad aeróbica máxima, también mejora otros pilares del rendimiento aeróbico, como los umbrales y la eficiencia mecánica, especialmente cuando el HIIT se aplica a personas sin un avanzado estado de entrenamiento. Recientemente se han

publicado los resultados de un estudio (Jabbour y col, 2017; *Physiol Rep* abril 5:7) cuyo objetivo fue evaluar los efectos de 6 semanas de HIIT sobre la eficiencia mecánica (ME) en grupos de personas jóvenes (26,2 años) y de edad avanzada (54,5 años). Los voluntarios completaron 6 semanas de intervención con HIIT en cicloergómetro. Cada sesión de HIIT consistió en 6 intervalos de ejercicio supramáximo de 6 s, con 2 min de recuperación pasiva entre intervalos. ME (%) fue valorada en términos netos a través de datos obtenidos en ambos umbrales (VT1 y VT2) y en VO_2max en un test de esfuerzo incremental. Los resultados mostraron que después de 6 semanas los valores de ME no difirieron entre grupos, y fueron más altos que al inicio del entrenamiento. El análisis de regresión múltiple demostró que el incremento en la potencia máxima (Pmax) contribuyó significativamente en la mejora de ME. Los autores sugieren que el HIIT puede ser recomendado como estrategia en la mejora de la eficiencia muscular en adultos mayores de edad.

HIIT Y FUERZA EN PACIENTES CON CÁNCER DE MAMA

El ejercicio físico favorece la recuperación de la capacidad funcional y mejora la calidad de vida de las mujeres supervivientes de un cáncer de mama. No se puede generalizar acerca de un programa de ejercicio universal a aplicar en estas pacientes ya que hay muchos factores que lo van a condicionar. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio piloto (Schulz y col, 2017; *Disabil Rehabil* 21: 1-8) cuyo objetivo fue evaluar la factibilidad de intervención con un programa de ejercicio que consistió en entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad y entrenamiento de la fuerza en pacientes con cáncer de mama. Participaron 26 mujeres que padecieron cáncer de mama no metastásico, siendo asignadas a un grupo de intervención o a un grupo

control. El entrenamiento se realizó 2 días por semana durante 6 semanas y combinó entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (10 intervalos de 1 min al 85-100% VO_2pico , con 1 min de recuperación) y entrenamiento de fuerza (2x15 rept 50% 1RM y posteriormente (2x8-12 repet, 60-80% 1RM). El grupo control realizó actividades cotidianas de actividad física. Los resultados mostraron un aumento del VO_2pico del 12% en el grupo de intervención y una mejora global de la fuerza del 25%, así como de la calidad de vida de las pacientes. No se observaron efectos adversos del entrenamiento. Los autores sugieren que el entrenamiento aeróbico de alta intensidad junto con entrenamiento de la fuerza puede ser utilizado de forma eficaz en la mejora de la capacidad aeróbica, de la fuerza y de la calidad de vida en pacientes supervivientes de cáncer de mama, una vez descartadas posibles contraindicaciones.

HIIT Y APETITO EN OBESOS

Los estudios sobre el impacto del entrenamiento interválico crónico sobre el apetito en la población con obesidad son escasos. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Martins y col, 2017; *Med Sci Sports Exerc* 11-abr) cuyo objetivo fue determinar los efectos de 12 semanas de programas isocalóricos de entrenamiento continuo de moderada intensidad (MICT) o interválico de alta intensidad (HIIT) ó HIIT de corta duración (1/2HIIT), sobre las sensaciones subjetivas de apetito, apetito en relación al nivel hormonal y valor de recompensa de la comida en sujetos obesos sedentarios. Participaron 46 obesos sedentarios (30 mujeres y 16 hombres) con un BMI de $33,3 \pm 2,9$ y una edad de $34,4 \pm 8,8$ años. Los voluntarios fueron asignados aleatoriamente uno de los siguientes tres grupos: MICT, HIIT ó 1/2HIIT. El ejercicio se realizó 3 días/semana durante 12 semanas. Los sentimientos subjetivos de apetito y

niveles plasmáticos de grelina acilada (AG), polipéptido YY3-36 (PYY3-36) y péptido similar al glucagón (GLP-1), fueron valorados antes y después de un desayuno estándar (cada 30 mi hasta 3 h) antes y después de la intervención de ejercicio. Las preferencias de sabor graso y dulce y la recompensa de alimentos se midieron usando el Leeds Food Preference Questionnaire. Los resultados mostraron un aumento de la sensación de hambre en ayuno y periodo posprandial con la intervención del ejercicio, pero sin diferencias entre grupos. No se observaron efectos de la intervención de ejercicio, ni interacción entre grupos, en las sensaciones de plenitud, deseo de comer, consumo de alimentos o concentraciones de AG, PYY3-36 y GLP-1. No se encontraron cambios en la preferencia o recompensa alimenticia respecto al tiempo o interacciones entre grupos. Este estudio sugiere que el HIIT no tuvo un efecto diferenciador sobre el apetito o recompensa de los alimentos al compararlo con un programa isocalórico de MICT en pacientes obesos.

HIIT Y MARCADORES DE INFLAMACIÓN SISTÉMICA

La inflamación sistémica se ha relacionado con diferentes enfermedades crónicas, por lo que los marcadores sistémicos de inflamación son considerados hoy en día como índices de salud. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Allen y col, 2017; *Eur J Appl Physiol* 13-abr) cuyo objetivo fue examinar los efectos de un entrenamiento aeróbico de alta intensidad (HIIT; 30 s esprint, 4-5 min de recuperación pasiva) y un entrenamiento de esprint intermitente (PIST; 10 s esprint, 2-3 min de recuperación activa) sobre los marcadores de inflamación sistémica: proteína C-reactiva (PCR) y factor de necrosis tumoral (TNF- α), capacidad aeróbica y medidas antropométricas en una población sedentaria de edad media. Participaron 55 adultos sedentarios

(40,2 \pm 6,1 años) que fueron asignados aleatoriamente al grupo HIIT, grupo PIST o control (CON). HIIT y PIST se desarrollaron 3 sesiones/semana durante 9 semanas en cicloergómetro, igualados por el tiempo en alta intensidad, mientras que el grupo CON continuó con sus hábitos sedentarios. Los resultados mostraron que HIIT y PIST aumentaron el VO_2 pico en comparación con CON, sin diferencias entre ellos. Solo el grupo HIIT se asoció con un descenso de la circunferencia de cintura, en comparación a CON. TNF- α y CPR no mostraron variaciones en ningún grupo. Los autores concluyen que en sujetos sedentarios 9 semanas de HIIT ó PIST fueron efectivos para mejorar la potencia aeróbica, sin embargo, solo el grupo HIIT disminuyó la circunferencia de cintura. Los marcadores de inflamación sistémica no se modificaron en ningún grupo.

ENTRENAMIENTO CONCURRENTE: HIIT + FUERZA

Las ventajas y desventajas del entrenamiento concurrente han sido bien estudiadas en los últimos años. La mayor parte de los usuarios de gimnasios o centros deportivos utilizan el entrenamiento concurrente de manera habitual. Recientemente se han publicado los resultados de una investigación (Gentil y col, 2017; *Eur J Appl Physiol* 19-abr) cuyo objetivo fue comparar las mejoras de la fuerza de la parte superior e inferior del cuerpo en mujeres premenopáusicas al realizar entrenamiento de fuerza aislado (RT) o combinado (CT) con entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT). Participaron 16 mujeres de entre 26 y 42 años que fueron asignadas aleatoriamente a uno de los dos grupos de intervención: RT ó CT. Ambos grupos realizaron el mismo entrenamiento de fuerza, pero CT realizó adicionalmente HIIT sobre una bicicleta antes de las sesiones de RT. El estudio tuvo una duración de 8 semanas y las participantes fueron evaluadas en diferentes test de fuerza (10 RM):

flexión de codo y extensión de rodilla. RT fue realizado con 10-12 repeticiones a carga máxima auto-estimada, en las primeras 4 semanas, progresando a 8-10 repeticiones en las últimas semanas. Durante CT, HIIT se realizó antes de RT, con 6 intervalos de 1 min a intensidad subjetiva de 7-8 (escala 1-10) progresando hasta percepción 9-10 RPE. Los resultados mostraron un aumento de la fuerza en grupos musculares superiores e inferiores en los dos grupos, sin diferencias entre ellos. Los autores concluyen que realizar un HIIT en cicloergómetro antes del entrenamiento de fuerza no afecta a la mejora de la fuerza muscular de extensores de rodilla o flexores de codo en mujeres premenopáusicas.

RESPUESTAS CARDIORRESPIRATORIAS AL HIIT Y ENTRENAMIENTO CONTINUO

Las respuestas cardiorrespiratorias al entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) frente al entrenamiento continuo depende de muchos factores, entre los que destaca la intensidad de ejercicio empleada en esas sesiones. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Schaun y col, 2017; *Eur J Appl Physiol* 9-may) cuyo objetivo fue comparar el gasto energético (EE) durante y después de realizar dos protocolos diferentes sobre tapiz rodante: HIIT y entrenamiento continuo de moderada intensidad (CONT), en varones (n= 26) jóvenes (18-35 años). Los participantes fueron asignados aleatoriamente a uno de los dos grupos. La sesión de HIIT consistió en 8 intervalos de 20 s al 130% de la VAM (velocidad aeróbica máxima) con 10 s de recuperación pasiva. La sesión de CONT consistió en 30 min a la velocidad correspondiente al 90-95% de la frecuencia asociada al umbral anaeróbico. Se obtuvieron datos del VO_2 durante los protocolos y del exceso de consumo de oxígeno post-ejercicio (EPOC). Los resultados no mostraron

diferencias significativas entre grupos en VO_2 y EE por minuto durante los protocolos efectuados. En relación al EE total de la sesión, el grupo CONT alcanzó mayores valores que el HIIT (390,45 \pm 65,15 vs 55,20 \pm 9,33 kcal, respectivamente). Sin embargo, el EPOC y el EE post-ejercicio, fueron más altos después del HIIT (69,31 \pm 10,8 y 26,27 \pm 2,28 kcal, respectivamente) comparado con el grupo CONT (55,99 \pm 10,2 y 13,43 \pm 10,45 kcal, respectivamente). Los datos sugieren que el HIIT supramáximo tiene un mayor impacto sobre el gasto energético y el EPOC en la primera fase de la recuperación en comparación al ejercicio continuo de intensidad moderada.

EFFECTOS DE LA RECUPERACIÓN ACTIVA EN HIIT SOBRE CATECOLAMINAS E INSULINA

La recuperación activa, especialmente después de ejercicios con alto componente glucolítico, se utiliza para acelerar la recuperación. De esta forma, mejora el rendimiento de ejercicios subsecuentes, siendo por tanto recomendada durante las sesiones de entrenamientos interválicos de alta intensidad. Por otra parte, no se conoce en profundidad los efectos de la recuperación activa sobre las respuestas hormonales y el perfil metabólico. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Nalbandian y col, 2017; *J Sports Med Phys Fitness* 9-may) cuyo objetivo fue investigar los efectos de la recuperación activa sobre las concentraciones de catecolaminas e insulina plasmáticas durante una sesión de ejercicio interválico de alta intensidad. Participaron 7 sujetos que realizaron 2 protocolos de ejercicio interválico de alta intensidad que consistió en 3 x 30 s de alta intensidad constante separados por 4 min de recuperación. La recuperación fue activa o pasiva. Durante las sesiones se monitorizó a los sujetos con análisis de gases respiratorios, así como tomas de muestras de sangre para analizar lactato, catecolaminas e insulina. Los resultados

mostraron que los niveles de insulina y lactato fueron significativamente más altos en los protocolos con recuperación pasiva, mientras que la adrenalina fue mayor con recuperación activa. Además, VO_2 y VCO_2 fueron más altos con recuperación activa. Los resultados sugieren que la recuperación activa afecta a las respuestas hormonales y metabólicas después de un ejercicio interválico de alta intensidad. La recuperación activa se asoció a un ambiente hormonal que puede favorecer la lipólisis y el metabolismo oxidativo, mientras que la recuperación pasiva parece favorecer la glucólisis.

FUNCIÓN ENDOTELIAL: SIT VS ENTRENAMIENTO CONTINUO

El entrenamiento continuo de moderada intensidad (MICT) mejora la función arterial periférica en adultos sanos, un fenómeno que revierte a medida que el entrenamiento induce la remodelación estructural. El entrenamiento interválico de esprint (SIT) se asocia a algunas adaptaciones fisiológicas similares a las del MICT a pesar de un significativo menor volumen de entrenamiento y tiempo empleado; sin embargo, su efecto sobre la función arterial periférica y estructura no se conocen. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Shenouda y col, 2017; J Appl Physiol 25-may*) cuyo objetivo fue comparar las respuestas en la función arterial periférica de 12 semanas de MICT y SIT en hombres sanos sedentarios (27±8 años). Los participantes realizaron MICT (45 min de ciclismo al 75% FCpico) o SIT (3 x 20 s “all out” esprint en bicicleta con 2 min de recuperación). Un grupo que no entrenó ejerció de control (CON). Los resultados mostraron que el aumento de flujo sanguíneo en arterial braquial dependiente de la vasodilatación (FMD) mejoró un 2,2% después de 6 semanas de MICT, retornando a los valores basales a las 12 semanas. No se observó ningún cambio con SIT o en CON. El diámetro de la arterial braquial aumentó después de 6 y 12 semanas, con los mayores incrementos

observados en MICT. Ningún protocolo provocó cambios en la arterial poplítea o carótida. Los hallazgos de este estudio sugieren que el MICT fue superior al SIT en la mejora de la función endotelial de la arterial braquial.

“ELEVATION TRAINING MASKS®” DURANTE HIIT

El entrenamiento de resistencia aeróbica en altitud ha mostrado favorecer el aumento del consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}). Efectos similares han sido descritos por medio del entrenamiento con altitud simulada, opción que ha sido explorada por medio de diferentes sistemas aplicados al entrenamiento. La *elevation training masks* (máscara de entrenamiento en altitud) se oferta como un medio para estimular las adaptaciones cardiorrespiratorias de manera similar el entrenamiento en altitud, sin embargo, no hay apenas investigaciones que avalen esos efectos. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Biggs y col, 2017; Int J Exerc Sci 10: 127-136*) cuyo objetivo fue investigar los posibles efectos de la utilización de la máscara sobre la capacidad cardiorrespiratoria y la función pulmonar mediante la realización de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) corriendo. Los sujetos participantes fueron distribuidos en un grupo control, grupo que no utilizó la máscara y grupo experimental que entrenó con la máscara. Participaron en un programa de 6 semanas realizando 4 sesiones por semana. Cada sesión incluyó un calentamiento, seguido de la realización de intervalos al 80% de la frecuencia cardiaca de reserva (HRR) durante 90 s, seguido de 3 min de recuperación al 50-60% HRR. Se realizaron 6 intervalos por sesión. Los resultados mostraron mejoras en los valores predichos de VO_{2max} en los grupos que entrenaron HIIT, pero no hubo diferencias entre grupos. La capacidad vital inspiratoria forzada y la capacidad vital forzada no mostraron diferencias entre grupos. Los autores concluyeron que el HIIT es un método eficaz en la mejora del VO_{2max} pero que la máscara

de entrenamiento en altitud no se asoció a mejoras adicionales en ninguna variable estudiada.

HIIT Y MARCADORES DE SALUD CARDIOVASCULAR EN DIABÉTICOS TIPO 2

El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) mejora la salud cardiovascular, pero los efectos agudos de esta modalidad de entrenamiento sobre distintos biomarcadores circulantes de función cardiovascular no están aclarados en pacientes diabéticos tipo 2 (T2D). Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Francois y Little, 2017; Eur J Appl Physiol 31-may*) cuyo objetivo fue examinar la respuesta aguda del HIIT en pacientes diabéticos tipo 2. En un primer estudio, se midió la presión arterial, dilatación dependiente del endotelio, marcadores de activación endotelial y troponina T, 30 min y 2 h después de una sesión de HIIT (7 intervalos x 1 min) en T2D y personas normoglucémicas (CON). El estudio 2 valoró la respuesta aguda de una sesión de HIIT (10 intervalos x 1 min) sobre marcadores circulantes de activación endotelial y troponina T, 30 min y 24 h después del entrenamiento en T2D entrenados físicamente. Los resultados mostraron en el estudio 1, que los marcadores de activación y función endotelial no se modificaron a las 2 h de finalizado el HIIT en T2D o CON. Los niveles de glucemia a los 30 min post-ejercicio se redujeron más en T2D que en CON. El factor de adhesión endotelial VCAM-1 se redujo más a los 30 min post-ejercicio después de HIIT en CON que en T2D. En el estudio 2, no se observaron diferencias significativas en ningún marcador de activación endotelial o troponina T a los 30 min y 2 h después del HIIT en T2D entrenados. Los autores sugieren que los efectos agudos de HIIT no alteran significativamente los marcadores de salud de la función endotelial en pacientes diabéticos tipo 2 entrenados y no entrenados.

OXIGENACIÓN CEREBRAL DURANTE ACTIVACIÓN CORTICAL

La elaboración de actos motores voluntarios se asocia a un mayor flujo de sangre en las zonas cerebrales activas con el fin de mejorar la oxigenación cerebral. Un fenómeno similar ocurre durante tareas cognitivas de una cierta complejidad. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Coetsee y Terblanche, 2017; Eur J Appl Physiol 31-may*) cuyo objetivo fue determinar si la respuesta de la oxigenación cerebral durante la activación cortical es influenciada por el tipo de entrenamiento. Participaron 67 sujetos de edad entre 55 y 75 años en un estudio de intervención de 16 semanas. Los participantes fueron asignados aleatoriamente a diferentes grupos: entrenamiento de fuerza (RT), entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT), entrenamiento continuo de moderada intensidad (MCT), y grupo control (CON). Se utilizó espectroscopía cercana al infrarrojo para medir la oxigenación cerebral durante un test “*Stroop task*” (leer colores de distintas palabras que contienen nombres de colores). Los resultados mostraron que dieciséis semanas de entrenamiento se asoció a una más eficiente oxigenación cerebral durante la activación cortical comparada al grupo de no entrenamiento. Además, el entrenamiento aeróbico (HIIT y MCT) fue superior al entrenamiento de fuerza (RT) en la oxigenación cerebral durante tareas complejas mejorando la utilización del oxígeno durante la activación cortical en sujetos de edad avanzada.

DOLOR MUSCULAR TARDÍO: HIIT VS ENTRENAMIENTO CONTINUO

El dolor muscular tardío (“*delayed-onset muscle soreness, DOMS*”) es muy común en personas no entrenadas que realizan una sesión de ejercicio puntual, y también en deportistas entrenados cuando incrementan de forma importante el volumen y la intensidad del ejercicio,

o los músculos implicados en el mismo. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Farias Junior y col, 2017; J Strength Cond Res 12-jun*) cuyo objetivo fue comparar los efectos de una sesión de ejercicio aislada de bajo volumen y alta intensidad (HIIE) ó de ejercicio continuo (CE) sobre la magnitud del DOMS en sujetos sanos no entrenados. Participaron 15 sujetos de edad media de 25,1 años que completaron 2 sesiones de ejercicio en orden aleatorio: **a)** HIIE: 10x60 s al 90% de la velocidad máxima (MV) con 60 s de recuperación activa al 30% de MV; y **b)** 20 min al 60% MV. Antes y 24 h después de cada sesión de ejercicio se evaluaron: umbral de dolor a la presión (PPT), tolerancia de dolor a la presión (PPTol) e intensidad del dolor percibido (PPI), en los músculos recto femoral, bíceps femoral y gastrocnemio. Los resultados mostraron un descenso de PPT en recto femoral y PPTol en gastrocnemio y un aumento de PPI en recto femoral y bíceps femoral, 24 h después de la sesión de HIIE. Se observó un descenso de PPT en recto femoral, bíceps femoral y gastrocnemio, y PPTol en recto femoral, bíceps femoral y gastrocnemio), así como un aumento de PPI en todos los músculos, 24 h después de la sesión de CE. No se observaron diferencias significativas entre las sesiones de HIIE y CE en otros parámetros del DOMS. Los autores concluyen que una sesión aislada de HIIE y CE provocaron similares respuestas de DOMS 24 h después de finalizado el ejercicio en jóvenes sanos no entrenados.

HIIT VS ENTRENAMIENTO CONTINUO EN PACIENTES CORONARIOS

Desde hace tiempo se está aplicando el entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIIT) en los programas de rehabilitación de pacientes coronarios, habiendo sido valorados su eficacia clínica y seguridad en distintos estudios. En ese contexto, la recuperación de la frecuencia cardiaca (HRR) después de la prueba de esfuerzo, es considerada como un factor

pronóstico e indicador de mortalidad en pacientes coronarios. El entrenamiento de estos pacientes ha mostrado mejoras del VO_{2pico} y HRR, pero la mayoría de los estudios previos han aplicado protocolos continuos de moderada intensidad, estando muy limitada la aplicación de entrenamientos de alta intensidad en pacientes coronarios. Recientemente nuestro grupo ha publicado (*Villelabeitia-Jaurequizar y col, 2017; Int J Cardiol 17-jun*) los resultados de un estudio cuyo objetivo fue comparar los efectos de un programa de ejercicio continuo de intensidad moderada (MCT) frente a un interválico de alta intensidad (HIIT) sobre el VO_{2pico} y HRR. Participaron setenta y tres pacientes con patología coronaria que fueron asignados aleatoriamente a los grupos MCT ó HIIT para realizar un programa de ejercicio de 8 semanas. Los resultados mostraron que ambos protocolos mejoraron el VO_{2pico} , pero el aumento fue mayor en el grupo HIIT (HIIT: $4,5 \pm 4,46$ ml/kg/min vs MCT: $2,46 \pm 3,57$ ml/kg/min; $p=0,039$). Por otra parte, el grupo HIIT incrementó significativamente la HRR en el primer y segundo minuto de recuperación. Los resultados sugieren que la aplicación de HIIT en pacientes con enfermedad cardiaca isquémica crónica de bajo riesgo aumentó en mayor medida que el entrenamiento continuo el VO_{2pico} y los índices de recuperación de la frecuencia cardiaca, mejorando con ello el pronóstico de estos pacientes.

EFFECTOS DEL HIIT SOBRE LA COMPOSICIÓN CORPORAL Y LA SENSACIÓN DE HAMBRE

El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) ha mostrado una gran efectividad en la mejora del consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}). Sin embargo, los cambios obtenidos sobre la composición corporal no son tan claros. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Astorino y col, 2017; J Sports Med Phys Fitness 21-jun*) cuyo objetivo fue examinar los cambios en la composición corporal y la restricción

dietética en respuesta a 20 sesiones de HIIT. Participaron 30 hombres y mujeres de edad media de 22,5 años que fueron asignados aleatoriamente a uno de los tres grupos de entrenamiento HIIT realizado en cicloergómetro. Antes y después del periodo de entrenamiento se analizaron la composición corporal y la percepción de hambre, así como la restricción de alimentos. Los resultados no mostraron cambios en la composición corporal (%grasa valorado por bioimpedancia ó circunferencia de cintura) como respuesta al HIIT. Sin embargo, la suma de pliegues disminuyó con HIIT en mujeres, pero no en hombres. La sensación de hambre se redujo post-entrenamiento, pero esa respuesta no fue diferente a la del grupo control. Los autores sugieren que veinte sesiones de HIIT redujeron el % de grasa corporal valorado mediante pliegues en mujeres, pero no en hombres, pero no alteró la sensación de hambre.

RESPUESTAS FISIOLÓGICAS AL "7 MINUTE WORKOUT"

Una aplicación para smartphone denominada "7 minute Workout" (7Min) publicita que está científicamente probada para perder peso y mejorar la función cardiovascular. La aplicación ha tenido 10 millones de descargas y ha sido consultada por 35.0000 usuarios. Sin embargo, los cambios fisiológicos y metabólicos asociados a este entrenamiento no se conocen. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Riegler y col, 2017; J Strength Cond Res 22-jun*) cuyo objetivo fue comparar las respuestas fisiológica entre "7 minute Workout" y un ejercicio HIIT de la misma duración en cicloergómetro. Participaron hombres y mujeres físicamente activos que realizaron 2 sesiones de ejercicio separadas por >48 h, completando 4Min ó HIIT. Durante el ejercicio se valoraron VO_{2} , frecuencia cardiaca (HR), niveles de lactato (La) y percepción de esfuerzo (RPE). Los resultados mostraron que el VO_{2pico} alcanzado fue mayor en HIIT, alcanzado

durante esta modalidad de entrenamiento valores medios de VO_{2} y frecuencia cardiaca más altos, frente a 7Min. Los niveles de lactato fueron similares entre ambos entrenamientos, y la percepción de esfuerzo fue mayor en HIIT.

EVIDENCIA DE DAÑO CARDIACO ASOCIADO A HIIT

Desde hace años, diferentes estudios han mostrado alguna evidencia de elevación de marcadores de daño cardiaco en pruebas deportivas como maratón, triatlón, etc. Esas elevaciones transitorias no se consideran habitualmente como daño cardiaco clínico, aunque persisten algunas dudas al respecto. Por otra parte, en los últimos años se ha popularizado el entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT), y en ese sentido no hay apenas estudios que hayan analizado la respuesta de los marcadores habituales de daño cardiaco después de esa modalidad de entrenamiento. En este "caso clínico" se muestra una elevación de marcadores de daño cardiaco (troponina I cardiaca) asociado a HIIT (*Baird y col, 2017; Medicine -Baltimore, 96(27):e7030*). El paciente fue una mujer joven (29 años) aparentemente sana que presentó una elevación de niveles de troponina I cardiaca (>0,04 ng/ml) después de un HIIT a base de esprint. La enzima creatín-quinasa (CK) también mostró valores elevados. Una valoración del gasto energético del paciente evidenció que llevaba un largo periodo de tiempo en déficit calórico. Este es probablemente el primer caso que muestra evidencia de una elevación de marcador de daño cardiaco como resultado de la realización de una sesión de HIIT a base de esprint en bicicleta, en un sujeto con un balance energético negativo crónico.

ELEVACIÓN DEL GASTO ENERGÉTICO DE REPOSO DESPUÉS DE HIIT

El gasto energético de reposo (REE) aumenta después de realizar ejercicios de alta intensidad, pero no se conocen bien los mecanismos que lo justifican. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Hunter y col,*

2017; *Med Sci Sports Exerc* 21-jul) cuyo objetivo fue determinar los efectos de una sesión de ejercicio aeróbico continuo de moderada intensidad (MIC) o un ejercicio interválico de alta intensidad (HIIT) sobre el REE en condiciones de balance energético. Participaron 33 mujeres premenopáusicas que fueron evaluadas al inicio, después de 8-16 semanas de entrenamiento, 22 h después de realizar una sesión de MIC (50% VO_2pico) o HIIT (84% VO_2pico). Los participantes fueron evaluados en cámara calorimétrica durante y después del ejercicio. Se ajustó el consumo de alimentos para conseguir un balance energético durante 23 h, y REE fue medido después de 22 h en cada condición de ejercicio. Se obtuvieron muestras en orina de noradrenalina y en suero de CPK. También se obtuvieron muestras musculares por biopsia en 15 de las participantes para examinar la oxidación de las grasas. Los resultados mostraron una elevación de REE 22 h después de MIC (64±19 kcal) y HIIT (103±137 kcal). Los marcadores de daño muscular aumentaron después de HIIT y MIC, mientras que el tono simpático (noradrenalina en orina) aumentó solo después de HIIT. No se observó un desacople de la fosforilación en la oxidación de las grasas. Los autores sugieren que en condiciones de balance energético el gasto energético de reposo se elevó después de ejercicio continuo de intensidad moderada o ejercicio interválico de alta intensidad. El proceso de daño/repación muscular más el aumento del tono simpático pudieron contribuir al incremento del gasto energético de reposo.

FUNCIÓN INMUNE Y HIIT

A lo largo de las últimas décadas se ha consolidado la relación entre el ejercicio de alta intensidad (también de alto volumen) con un descenso de la función inmune en general y de las mucosas en particular, de tal suerte que algunas pequeñas infecciones se asociaban a

periodos de alto volumen o intensidad en los deportistas con gran exigencia de entrenamiento. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Born y col, 2017; *Front Physiol* 11-jul) cuyo objetivo fue evaluar la función inmune de la mucosa y las variaciones en el cortisol salival, tasa de secreción de IgA (sIgA) y estado de ánimo durante un periodo de entrenamiento con HIIT (entrenamiento interválico de alta intensidad) en comparación a un entrenamiento continuo de baja intensidad (LSD). Participaron corredores aficionados que realizaron 9 sesiones de HIIT o LSD en 3 semanas. El HIIT consistió en 4x4 min de carrera al 90% FCmax con 3 min de recuperación activa, mientras que el LSD consistió en carrera continua de 60-80 min al 70-75% FCmax. El estrés psico-inmunológico fue investigado el primer y último día de entrenamiento, así como 4 días después de finalizar el entrenamiento. Los resultados mostraron una mejora del rendimiento (test hasta el agotamiento y VO_2max) en el grupo HIIT vs LSD. En el grupo HIIT la tasa de secreción de IgA fue mayor en el último día de entrenamiento, así como el área bajo la curva en comparación con el grupo LSD. El área bajo la curva de la secreción de cortisol no se vió afectada por el entrenamiento, pero aumentó en los días posteriores. Los autores sugieren que el incremento de la secreción de IgA observado en el grupo HIIT indica que la función inmune de la mucosa no está comprometida.

HIIT Y PROTEÍNAS POST-EJERCICIO EN DIABETES TIPO 2

El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) mejora distintos aspectos relacionados con la salud cardiometabólica. Estudios previos han sugerido que las adaptaciones al entrenamiento pueden mejorarse con el consumo de leche o proteínas post-ejercicio, pero no se conoce si la ingesta de proteínas post-HIIT podría mejorar

las adaptaciones cardiometabólicas en diabéticos tipo 2. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Francois y col, 2017; *Front Physiol* 8:528) cuyo objetivo fue determinar si la adición de leche y/o proteínas post-ejercicio HIIT podría mejorar las adaptaciones cardiometabólicas en pacientes con diabetes tipo 2. Los pacientes fueron asignados aleatoriamente a uno de los siguientes grupos: 500 ml de leche, control de macronutrientes o placebo. Estas bebidas fueron consumidas después de las sesiones HIIT (3 días/semana) durante 12 semanas. El HIIT consistió en 10x1 min con 1 min de recuperación activa. Dos sesiones a la semana se realizaron con entrenamiento aeróbico (90% FCmax) y una sesión se estructuró con entrenamiento de fuerza (RPE=5-6 escala 1-10). Los resultados mostraron efectos significativos del programa de ejercicio en los valores de glucemia, %grasa corporal y masa libre de grasa, pero sin diferencias entre grupos. Igualmente, se observó una mejora de la función endotelial, VO_2pico y presión arterial media, pero sin diferencias entre grupos. Los autores concluyen que el HIIT es un potente estímulo para mejorar factores de riesgo cardiometabólicos en pacientes con diabetes tipo 2, sin observar mejoras adicionales al añadir proteínas en post-ejercicio.

INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL EN LA APLICACIÓN DE FRÍO POST-EJERCICIO

La eficacia de la aplicación de frío en forma de inmersión en agua post-ejercicio ha sido cuestionada por distintas investigaciones. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Stephens y col, 2017; *Int J Sports Physiol Perform* 8:1-28) cuyo objetivo fue explorar la influencia de la composición corporal sobre la respuesta térmica a la inmersión en agua fría (CWI) y la recuperación del rendimiento. El grupo de sujetos voluntarios fue estratificado en dos subgrupos: baja grasa corporal

(LF) o alta grasa corporal (HF). Los voluntarios completaron un test de ejercicio interválico de alta intensidad (HIIT) en cicloergómetro seguido de 15 min de recuperación (CWI ó Control). Se evaluaron la temperatura del núcleo (T_c), temperatura de la piel (T_{sk}) y la frecuencia cardiaca (HR) de manera continuada. El rendimiento se evaluó inmediatamente post-HIIT y a los 40 min de recuperación utilizando un test de 4 min a máxima intensidad sobre cicloergómetro (TT), salto contramovimiento (CMJ) y un test isométrico de extensión de rodilla (IMTP). También se valoraron sensaciones subjetivas de recuperación. Los resultados mostraron que las temperaturas T_c y T_{sk} fueron significativamente más bajas en LF vs HF desde los 10 min a los 40 min en CWI. La recuperación post-ejercicio de TT fue mejor después de CWI en HF comparado con LF, pero no se observaron diferencias entre LF y HF vs control. En el resto de medidas no se observaron diferencias significativas entre condiciones. Los autores sugieren que la composición corporal influye en la magnitud del cambio en T_c durante y después de la inmersión en agua fría. Además, la inmersión en agua fría solo mejoró la recuperación del rendimiento en el grupo que tenía más grasa corporal. Por lo tanto, la composición corporal debería tenerse en cuenta al planificar protocolos de aplicación de frío en forma de inmersión en agua para mejora de la recuperación.

HIIT AUMENTA LA TESTOSTERONA LIBRE EN ATLETAS MASTER

El entrenamiento aeróbico intermitente de alta intensidad (HIIT) aumenta la potencia pico (PPO) y hombres sedentarios de edad avanzada, pero no se ha examinado si esto mismo ocurre en atletas master. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Herbert y col, 2017; *Endocr Connect* 5:430-436) cuyo objetivo fue valorar si 6 semanas de entrenamiento de HIIT

de bajo volumen podría: **1)** mejorar la PPO; y **2)** si los posibles cambios en PPO podrían estar asociados a modificaciones hormonales. Participaron en el estudio 17 atletas master (60±5 años), que realizaron 9 sesiones de HIIT en 6 semanas. Las sesiones de HIIT consistieron en 6 x 30 s esprint al 40% PPO, con 3 min de recuperación activa. Los resultados mostraron una mejora significativa de la PPO absoluta (799±205 W y 865±211 W) y relativa (10,2±2,0 W/kg y 11,0±2,2 W/kg) con el entrenamiento. No se observaron cambios en los niveles de testosterona total, con un pequeño aumento de la testosterona libre (p=0,050). Los autores sugieren que el HIIT mejora la potencia en atletas master e incrementa los niveles de testosterona libre.

ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE ALTA INTENSIDAD VS CONTINUO DE MODERADA INTENSIDAD EN PACIENTES CORONARIOS

La realización de ejercicio en enfermos coronarios como parte del tratamiento médico ha supuesto una reducción muy significativa de la mortalidad. Sin embargo, no está aun totalmente aclarado que modalidad de ejercicio es la mejor opción. Recientemente se han publicado los resultados de una revisión sistemática y metaanálisis (Gomes-Neto y col, 2017; *Eur J Prev Cardiol 1-ene*) cuyo objetivo fue investigar los efectos de programas interválicos de alta intensidad frente a entrenamientos continuos de intensidad moderada sobre la capacidad funcional y calidad de vida de pacientes coronarios. Se incluyeron en el análisis 12 estudios (609 pacientes). Los resultados mostraron que el entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) mejoró el VO_{2pico} en mayor cuantía que el entrenamiento continuo de moderada intensidad. No hubo diferencias entre modalidades de entrenamiento en la calidad de vida percibida. El análisis de 3 estudios que realizaron entrenamientos interválicos y continuos isocalóricos, no

mostró diferencias en las mejoras del VO_{2pico} . Los autores sugieren que los programas de entrenamiento interválicos de alta intensidad deberían ser prioridad en pacientes coronarios. Sin embargo, se debería confirmar la superioridad del HIIT sobre el entrenamiento continuo con protocolos isocalóricos.

EJERCICIO DE ALTA INTENSIDAD Y TOLERANCIA AL DOLOR

La influencia del ejercicio sobre la tolerancia al dolor no ha sido muy explorada en el ámbito de la fisiología del ejercicio. El ejercicio de resistencia aeróbica se asocia a liberación de opiáceos endógenos (endorfinas) que podrían tener efectos adaptativos sobre la tolerancia al dolor. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (O'Leary y col, 2017; *Eur J Appl Physiol 6-sep*) cuyo objetivo fue examinar los efectos del entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIIT) comparado con un volumen igual de entrenamiento continuo de moderada intensidad (CONT) sobre la tolerancia al dolor muscular y tolerancia al ejercicio de alta intensidad. Los sujetos voluntarios fueron asignados aleatoriamente a un grupo para realizar un entrenamiento de 6 semanas. Entrenamiento HIIT (6-8 x 5 min a intensidad media entre VO_{2max} y máximo estado estable del lactato) o entrenamiento CONT de igual volumen (60-80 min al 90% del umbral láctico) realizados en cicloergómetro. Se utilizó un test de torniquete para examinar la tolerancia al dolor muscular y un test hasta el agotamiento (TTE) a la intensidad del HIIT, que se completaron antes y después del periodo de entrenamiento. Los resultados mostraron que ambos entrenamientos mostraron resultados similares en el aumento del fitness aeróbico. El HIIT mejoró el resultado del TTE en mayor medida que en CONT. El grupo HIIT mejoró la tolerancia al dolor (~41%), mientras que no se observaron efectos en el grupo CONT. Los cambios

en la tolerancia al dolor mostraron una relación positiva con las modificaciones de TTE, tanto en intensidad relativa, como absoluta. Los autores sugieren que el entrenamiento HIIT aumenta la tolerancia al dolor muscular, siendo un factor independiente de la mejora de la condición aeróbica, y puede contribuir a incrementar la tolerancia al dolor asociado a entrenamientos de muy alta intensidad.

CONTRIBUCIÓN DE SUSTRATOS EN EL EJERCICIO INTERMITENTE DE ALTA INTENSIDAD

Se ha argumentado que la contribución de las grasas en el gasto energético total es casi despreciable en intensidades elevadas de ejercicio (>85% VO_{2max}). Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Aslankeser Z, Balci SS, 2017; *Peer J 6-sep. 5:e3769*) cuyo objetivo fue examinar los cambios en la oxidación de sustratos durante un ejercicio interválico de alta intensidad en jóvenes adultos sanos. Participaron jóvenes entrenados (19,6±0,54 años) y desentrenados (20,25±0,41 años), que realizaron un test de esfuerzo en cicloergómetro y 6 intervalos de 4 min a una intensidad aproximada al 80% VO_{2max} , con 2 min de recuperación entre intervalos. La energía consumida y la oxidación de sustratos se evaluó por calorimetría indirecta. Se obtuvieron muestras de lactato sanguíneo después de cada intervalo. Los resultados mostraron que la oxidación de las grasas fue significativamente diferente entre entrenados y no entrenados durante los intervalos, siendo la oxidación de los carbohidratos similar entre ambos grupos. Además, los niveles de lactato aumentaron en el grupo no entrenado, pero no cambió significativamente en el entrenado. La contribución de las grasas al gasto energético fue mayor en el grupo de entrenados (~25%) que en el de no entrenados (~2%). Los resultados indican una tasa de oxidación de grasas 17 veces mayor en entrenados durante el

ejercicio interválico de alta intensidad en comparación al grupo de no entrenados. Sin embargo, el consumo de hidratos de carbono fue similar.

EFFECTOS EN EL ENTRENAMIENTO AERÓBICO INTERVÁLICO Y CONTINUO POR SENSACIONES SOBRE MARCADORES DE SALUD

La intensidad de entrenamiento, tanto en la modalidad continua como en la interválica, se tiende a controlar de la manera más objetiva posible. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Connolly y col, 2017; *Eur J Appl Physiol 20-sep*) cuyo objetivo fue comparar los efectos de un periodo de entrenamiento aplicando protocolos continuos e interválicos controlados por sensaciones subjetivas sobre marcadores de salud de mujeres premenopáusicas. Participaron mujeres no activas físicamente que fueron distribuidas aleatoriamente en dos grupos de entrenamiento en cicloergómetro: HIIT (entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad) que se desarrolló con 5 intervalos de 5 min (30 s de baja intensidad, 20 s de moderada intensidad y 10 s de alta intensidad) con 2 min de recuperación entre intervalos; entrenamiento continuo (CT, 50 min de entrenamiento continuo) y control (CON, no ejercicio). El entrenamiento se desarrolló en 3 sesiones a la semana durante 12 semanas. Los resultados mostraron que el VO_{2pico} , la FC_{reposo} y el aprendizaje visual y verbal mejoraron en HIIT y CT frente a CON. El descenso de masa corporal, la FC caminando y la memoria verbal mejoraron después de HIIT, mientras que el estado de bienestar, la presión arterial media y la presión sistólica mejoraron después de CT. Los participantes disfrutaron de los entrenamientos HIIT y CT en la misma cuantía, y no se observaron cambios significativos en los lípidos séricos, glucemia basal, ni respuesta de la glucemia a un test de tolerancia en HIIT ó CT. No se modificó ninguna variable en el grupo CON. Los autores concluyen

que 12 semanas de entrenamiento HIIT o continuo controlado subjetivamente por sensaciones tienen similares efectos en las mejoras del fitness cardiocirculatorio y función cognitiva de mujeres sedentarias premenopáusicas. Por tanto, ambas modalidades de entrenamiento mejoraron de forma similar los marcadores de salud, pero el HIIT lo hizo aplicando menos tiempo.

ENTRENAMIENTO DE ESPRINT REPETIDOS: EFECTOS DE RECUPERACIÓN PROLONGADA

El entrenamiento de esprint repetidos consiste en una serie de breves esprint máximos de 3-7 s de duración, separados por cortos periodos de recuperación de <60 s. Sin embargo, se conoce poco acerca de la influencia del periodo de descanso entre esprint sobre las adaptaciones alcanzadas. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Ikutomo y col, 2017; Eur J Appl Physiol 14: 1-7*) cuyo objetivo fue determinar la influencia de establecer largos periodos de recuperación entre esprint en entrenamiento de esprint repetidos sobre las adaptaciones asociadas al rendimiento. Participaron atletas bien entrenados que fueron distribuidos en dos grupos de manera aleatoria: cortos periodos de recuperación (SHORT) y largos periodos de recuperación (LONG). El protocolo de entrenamiento para ambos grupos consistió en 2 series de 12 x 6 s de esprint máximo en bicicleta con 24 s de recuperación entre esprint. En el grupo LONG, se insertó un periodo de recuperación activa de 7 min cada 3 esprint para atenuar el descenso de potencia durante la segunda mitad de cada serie. El entrenamiento se realizó 3 días/semana durante 3 semanas. Antes y después del periodo de entrenamiento se realizó un test de rendimiento (12 x 6 s de esprint máximo). Los resultados mostraron que la máxima potencia durante el test de esprint únicamente aumentó en el grupo LONG. Ambos grupos mostraron un incremento similar en la potencia durante la segunda parte de las series de esprint.

El grupo LONG mostró un aumento significativo del $VO_2\max$. Los resultados sugieren que el entrenamiento de esprint repetido con periodos de recuperación prolongados insertados en las series es una estrategia eficaz para mejorar la potencia máxima y el $VO_2\max$ en relación con el establecimiento de periodos fijos y breves de recuperación entre esprint.

HIIT + ENTRENAMIENTO DE FUERZA EN SEDENTARIOS OBESOS DE EDAD MEDIA

La sarcopenia puede comenzar en la 4^a-5^a década de vida y es exacerbada por la obesidad y la inactividad física. Una combinación de entrenamiento de fuerza (RE) y resistencia aeróbica se recomiendan habitualmente en personas con sobrepeso/obesidad. Sin embargo, suele haber dudas sobre posibles interferencias de adaptación en la aplicación de entrenamiento concurrente. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Pugh y col, 2017; Eur J Appl Physiol 25-oct*) cuyo objetivo fue examinar si una sesión de entrenamiento concurrente (fuerza + HIIT) altera las respuestas de las células satélite después del ejercicio en comparación a la respuesta frente a entrenamiento de fuerza aislado. Participaron 8 sujetos sedentarios con sobrepeso/obesos que realizaron solamente RE (8 x 8 extensiones de pierna al 70% 1RM) o RE + HIIT (10 x 1 min al 90% FCmax sobre cicloergómetro). Se obtuvieron muestras del músculo vasto lateral por biopsia antes y 96 h después del entrenamiento para determinar la actividad de las células satélite por microscopía por inmunofluorescencia. Los resultados no mostraron diferencias a las 96 h en el aumento del número de células satélite activas de fibras tipo I. No se observaron modificaciones en el número de células satélite tipo II. Los autores sugieren que combinar HIIT con RE no interfiere en el número o nivel de activación de células satélite tipo I, respecto al entrenamiento aislado de fuerza.

HIIT APLICADO 4 SEMANAS Y RENDIMIENTO EN 5 K CORRIENDO

El entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIIT) es una modalidad de entrenamiento imprescindible para los atletas de resistencia aeróbica que buscan mejora del rendimiento. La distribución en la temporada en su aplicación, el número de sesiones, su densidad o la frecuencia de aplicación son decisiones que toma cada entrenador en función del perfil de cada deportista y de sus objetivos. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Silva y col, 2017; Braz J Med Biol Res 50(12):e6335*) cuyo objetivo fue analizar la influencia de 4 semanas de HIIT sobre la estrategia de carrera y el rendimiento en corredores en una distancia de 5 k. Participaron corredores aficionados que fueron asignados aleatoriamente a un grupo control (CON) o a un grupo de HIIT. Este último realizó 2 sesiones de HIIT por semana, mientras que el grupo CON mantuvo el entrenamiento habitual. Antes y después del periodo de entrenamiento se realizó un test de esfuerzo máximo para valorar máximo estado estable de lactato (MLSS), $VO_2\max$, y velocidad pico (PTS). También se valoró la economía de carrera (RE) en un test submáximo y un test de máximo rendimiento en pista sobre 5 k. Los resultados mostraron mejoras en el grupo HIIT de un 7% en RE y un 5% en PTS, pero no se observaron diferencias entre grupos en $VO_2\max$ ó MLSS. No hubo mejoras en el rendimiento en 5 K en ninguno de los grupos. Los hallazgos sugieren que 4 semanas de HIIT mejoran algunas variables fisiológicas relacionadas con el rendimiento, pero no alteraron el rendimiento en carrera en distancia de 5 k.

EFFECTOS DEL HIIT SOBRE LA FUNCIÓN VASCULAR EN NIÑOS OBESOS

El entrenamiento intermitente de alta intensidad (HIIT) induce mejoras evidentes en la capacidad aeróbica ($VO_2\text{pico}$) y en diferentes marcadores de salud. En la mayoría de los estudios publicados al respecto participaron

adultos, pero no hay tantos datos en niños. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (*Chuensiri y col, 2017; Child Obes 3-nov*) cuyo objetivo fue determinar si el HIIT y el entrenamiento intermitente de alta intensidad supramáximo (supra-HIIT) podrían mejorar la función y estructura vascular en niños preadolescentes obesos de entre 8 y 12 años. Los niños fueron asignados aleatoriamente a un grupo control (CON), HIIT (8x2 min al 90% $Wpico$) ó supra-HIIT (8x20 s al 170% $Wpico$). Los grupos de entrenamiento se ejercitaron sobre un cicloergómetro, 3 días a la semana, durante 12 semanas. Los resultados mostraron que ambos tipos de entrenamiento no modificaron la grasa corporal, % grasa corporal ó circunferencia de cintura. El $VO_2\text{pico}$ aumentó en ambos grupos de entrenamiento, y también en los dos grupos aumentó la tasa metabólica de reposo respecto al grupo control. La rigidez arterial, velocidad de pulso, espesor de la íntima de carótida y vasodilatación mediada por el flujo mejoraron significativamente en ambos grupos de entrenamiento. En resumen, ambas modalidades de entrenamiento mostraron efectos favorables sobre la capacidad aeróbica, tasa metabólica basal, función y estructura vascular y perfil lipídico en niños obesos preadolescentes.

EFFECTOS DEL HIIT SOBRE GRASA ABDOMINAL, VISCERAL Y TOTAL

El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) se ha propuesto como una alternativa al entrenamiento tradicional de tipo continuo, especialmente por el ahorro de tiempo que conlleva, además de por otras distintas respuestas y adaptaciones asociadas a la alta intensidad. Recientemente se han publicado los resultados de un metaanálisis (*Maillard y col, 2017; Sports Med 10-nov*) cuyo objetivo fue valorar la eficacia del HIIT en la reducción de la grasa

total, visceral y abdominal en adultos sanos con peso normal y personas con sobrepeso u obesidad. Se seleccionaron 39 estudios que implicaban a 617 sujetos (edad media: 38,8±14,4 años; 52% mujeres). Los resultados mostraron que el HIIT redujo significativamente la masa grasa total, visceral y abdominal, sin diferencias entre sexos. Por otra parte, el HIIT aplicado en carrera se mostró más eficaz que sobre bicicleta en la reducción de la grasa total y visceral. La mayor intensidad del HIIT (>90% FCmax) se mostró más eficaz en la reducción de la adiposidad total, mientras que menores intensidades incidieron más sobre grasa visceral y abdominal. Los autores concluyen que el HIIT se muestra como una alternativa de ejercicio muy favorable en cuanto al tiempo invertido, siendo eficaz en la reducción de los depósitos de grasa, incluidos visceral y abdominal.

COMBINACIÓN DE ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO Y NUTRICIÓN POST-EJERCICIO EN PACIENTES DIABÉTICOS TIPO 2

Los pacientes con diabetes tipo 2 (T2D) son especialmente sensibles al entrenamiento físico, así como a medidas nutricionales en el control de la enfermedad. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Francois y col, 2017; *J Diabetes Complications* 29-nov) cuyo objetivo fue examinar si la combinación de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) y la suplementación con proteínas post-ejercicio podría mejorar las adaptaciones cardiovasculares en pacientes diabéticos tipo 2. Participaron pacientes con T2D libres de enfermedad cardiovascular que realizaron durante 12 semanas entrenamiento (2 sesiones/semana) de fuerza y HIIT (4-10 x 1 min al 90% FCmax), siendo asignados a diferentes grupos de intervención: bebida de leche post-ejercicio, leche + proteínas post-ejercicio o placebo. Antes y después del tratamiento se valoraron el espesor de la íntima de arterias carótida y femoral

(IMT), así como el flujo de la arteria femoral por ultrasonidos. Los resultados mostraron que después de 12 semanas de intervención IMT femoral, velocidad de flujo femoral y carotídeo y frecuencia cardíaca de reposo, fueron menores respecto a los valores pre-entrenamiento. No se observaron diferencias respecto al tipo de suplementación nutricional post-entrenamiento. Los autores concluyen que el HIIT reduce el espesor de la íntima arterial femoral, rigidez arterial y frecuencia cardíaca de reposo en pacientes con diabetes tipo 2. La adición de bebidas ricas en proteínas post-entrenamiento no se asoció a efectos adicionales.

HIIT MEJORA LA SENSIBILIDAD DE LA INSULINA EN SUJETOS DE EDAD AVANZADA

La salud metabólica tiende a deteriorarse con la edad como resultado de la alteración de la composición corporal y de la inactividad física. El ejercicio de resistencia aeróbica minimiza esos cambios asociados a la edad previniendo en muchos casos el inicio de enfermedades metabólicas. El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) es una alternativa tiempo-eficiente al ejercicio tradicional aeróbico. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Søgaard y col, 2017; *Acta Physiol (Oxf)* 2-dic. Doi: 10.1111(apha.13009) cuyo objetivo fue investigar los beneficios metabólicos del HIIT en sujetos de edad avanzada. Participaron 22 hombres y mujeres sedentarios de 63±1 años de edad media, que realizaron sesiones de HIIT, 3 días/semana durante 6 semanas sobre un cicloergómetro. Cada sesión de HIIT consistió en 5 intervalos de 1 min, con 30 s de recuperación. Los resultados mostraron una mejora de la sensibilidad a la insulina y un aumento del VO₂pico en ambos géneros, mientras que el colesterol total, LDL-C, grasa visceral y %grasa corporal, disminuyeron después de las 6 semanas de intervención. El glucógeno muscular aumentó en ambos géneros,

al igual que GLUT4, glucógeno sintasa y hexocinasa. En resumen, 6 semanas de HIIT mejoró la salud metabólica de hombres y mujeres de edad avanzada, reduciendo los factores de riesgo de enfermedades cardiometabólicas.

ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE ALTA INTENSIDAD EN PACIENTES CON INSUFICIENCIA CARDÍACA CON FRACCIÓN DE EYECCIÓN REDUCIDA

Estudios con un tamaño de la muestra pequeño han sugerido que el entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) es mejor que el entrenamiento continuo moderado (ECM) para revertir la remodelación cardíaca y aumentar la capacidad aeróbica en pacientes con insuficiencia cardíaca en fracción de eyección reducida. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio multicéntrico (Ellingsen y col, 2017; *Circulation* 136: 605-606), que comparó la intervención supervisada de 12 semanas de ejercicio HIIT, ECM o dar recomendaciones de ejercicio regular (RER). Para ello, 261 pacientes con fracción de eyección del ventrículo izquierdo <35% y sintomatología estable (estadios II-III) fueron asignados aleatoriamente al grupo HIIT (N=77; intervalos de 4 minutos al 90-95% FCmax y 3 minutos de recuperación activa durante 38 minutos, incluyendo calentamiento y vuelta a la calma) grupo ECM (N=65; 47 minutos al 60-70% FCmax) o grupo RER (N=73; recomendaciones de ejercicio en casa según las corrientes actuales y una sesión al 50-70% FCmax cada 3 semanas). El ejercicio se realizó en tapiz rodante o cicloergómetro. Pasadas las 12 semanas de intervención se realizó un seguimiento de 52 semanas. Los grupos no diferían en edad (promedio de 60 años), género (19% mujeres), etiología isquémica (59%) o medicación. Los cambios en el ventrículo derecho al final de la diástole tras las 12 semanas no fueron diferentes entre HIIT y EMC, P=0.45. Los cambios respectivos frente a RER fueron -2.88mm (-5.2,

-0.4; P=0.02) con HIIT y -1.2mm (-3.6, 1.2; P=0.34) con ECM. Tampoco hubo diferencias entre HIIT y ECM en el VO₂pico (P=0.70), pero ambos fueron superiores que RER. No obstante, ninguno de estos cambios se mantuvo tras 52 semanas. No hubo eventos adversos significativos durante la intervención supervisada o el seguimiento de 52 semanas (HIIT 39%, ECM 25%, RER 34%, P=0.16). Los registros de entrenamiento mostraron que el 51% de los pacientes se ejercitó por debajo del objetivo prescrito en HIIT y un 80% por encima en ECM. Por tanto, el entrenamiento HIIT no fue superior que ECM en cambiar el remodelado ventricular izquierdo o la capacidad aeróbica, y su viabilidad sigue sin resolverse en pacientes con insuficiencia cardíaca.

IMPACTO DEL ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE ALTA INTENSIDAD Y CONTINUO DE INTENSIDAD MODERADA A LARGO PLAZO SOBRE LA INFLAMACIÓN SUBLÍNICA EN ADULTOS CON SOBREPESO/OBESOS

La obesidad es un factor de riesgo capaz de desencadenar varias alteraciones inflamatorias y el desequilibrio entre la producción de citocinas pro- y anti-inflamatorias. El ejercicio físico es una estrategia importante en la reducción de los procesos inflamatorios establecidos. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Gerosa-Nieto y col, 2016; *J Exerc Rehabil* 12: 575-580) cuyo objetivo fue evaluar los efectos de 16 semanas de 3 programas de entrenamiento distintos en el perfil inflamatorio y la resistencia a la insulina en participantes con sobrepeso/obesidad. Treinta y dos hombres y mujeres (46.4± 10.1 años; 162.0± 9.1 cm; 82.0± 13.6 kg) fueron divididos en 3 grupos de entrenamiento en tapiz rodante: continuo 30 minutos al 70% de la FCmax 5 veces por semana (CONT); 1x4 minutos (1-serie) y 4x4 minutos (HIIT) al 90% de la FCmax (con intervalos de 3 minutos al 70% en el grupo HIIT), 3 veces por semana. Se analizaron los niveles de

interleucina 6 y 10 (IL-6; IL-10), el factor alfa de necrosis tumoral (TNF- α), insulina y adiponectina mediante ensayo por inmunoabsorbancia ligada a la enzima, y se calculó la homeostasis del modelo de evaluación de resistencia a la insulina. Después de 16 semanas de entrenamiento las concentraciones en sangre de IL-6 disminuyeron en el grupo HIIT (P=0.035). TNF- α disminuyó en el grupo CONT (P=0.037) y aumentó en el grupo HIIT (P=0.001); y el nivel de adiponectina disminuyó con los 3 modelos de entrenamiento. Hubo una tendencia hacia la reducción de peso y masa corporales después de HIIT (P=0.059 y P=0.060 respectivamente). A pesar del descenso del nivel de adiponectina y el aumento del nivel de TNF- α en el grupo HIIT, la sensibilidad a la insulina mostró una tendencia a mejorar (P=0.08). El entrenamiento HIIT disminuyó el nivel de IL-6 en reposo y aunque no de forma significativa, fue el único que mostró una tendencia a disminuir el peso y masa corporales. Teniendo en cuenta estos datos, se puede sugerir que ambos entrenamientos, HIIT y CONT promueven cambios en el perfil inflamatorio en sujetos con sobrepeso/obesidad, pero con distinta respuesta mostrada en los niveles de TNF- α .

EFFECTOS COMPARABLES DEL ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE ALTA INTENSIDAD Y EL ENTRENAMIENTO CONTINUO PROLONGADO SOBRE LA REDUCCIÓN DE LA GRASA VISCERAL ABDOMINAL EN MUJERES JÓVENES OBESAS

La acumulación excesiva de grasa visceral abdominal se asocia fuertemente con complicaciones relacionadas con la obesidad, incluyendo diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares. La crisis de salud resultante de la adiposidad que aparece en esta localización anatómica específica se conoce como “obesidad metabólica”. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Zhang y col, 2017; *J Diabetes Res* 2017: 5071740) que

comparó el efecto del entrenamiento prolongado a intensidad continua moderada (MICT) con un entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) de intensidad equivalente (300 kJ/sesión de entrenamiento) sobre la reducción de la grasa visceral abdominal en mujeres jóvenes obesas. Cuarenta y tres participantes recibieron HIIT (n = 15), MICT (n = 15) o no entrenamiento (CON, n =13) durante 12 semanas. El área de grasa visceral abdominal (AVFA) y el área de grasa abdominal subcutánea (ASFA) de las participantes se midieron a través de una tomografía computada antes y después de la intervención. La masa grasa total y la masa grasa androide, ginoide y del tronco fueron medidas con absorciometría con rayos X de doble energía. Tras HIIT y MICT, se observaron reducciones comparables en AVFA (-9.1, -9.2 cm²), ASFA (-35, -28.3 cm²), y AVFA y ASFA combinados (-44.7, -37.5 cm², p > 0.05). De forma similar, no difirieron entre HIIT y MICT las reducciones en el porcentaje de grasa (-2.5%, -2.4%), la masa grasa total (-2.8, -2.8 kg) y la masa grasa androide (-0.3, -0.3 kg), ginoide (-0.5, -0.7 kg) y del tronco (-1.6, -1.2 kg, p > 0.05). Ninguna de las variables se modificaron en el grupo CON. En conclusión, MICT consistente en sesiones prolongadas no tiene ventajas cuantitativas, en comparación con las obtenidas en sesiones HIIT, sobre la reducción de la grasa visceral abdominal. HIIT parece ser una estrategia prevalente para el control de la obesidad debido a su mayor eficiencia con respecto al tiempo.

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE UN ENTRENAMIENTO INTERMITENTE DE ALTA INTENSIDAD (HIIT) SOBRE LA REDUCCIÓN DE FACTORES DE RIESGO PARA LA SALUD EN HOMBRE OBESOS Y CON SOBREPESO

Tanto el entrenamiento interválico de esprint (SIT) como el entrenamiento intermitente de alta intensidad (HIIT) han mostrado sus efectos favorables en las adaptaciones metabólicas y cardiorrespiratorias tanto en sujetos

sanos como en enfermos. Hasta ahora las investigaciones han tratado de verificar los potenciales efectos del SIT y del HIIT en grupos de personas con sobrepeso u obesos, con particular atención en la inflamación. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Kelly y col, 2017; *MBC Obes* 4:17) cuyos autores testaron la hipótesis de que 6 sesiones de HIIT realizadas en 2 semanas con 1-2 días de recuperación podría mejorar la capacidad aeróbica, el metabolismo de la glucosa y el perfil inflamatorio en personas con sobrepeso y obesos. Además, los autores quisieron comprobar si 4 sesiones de HIIT en el mismo periodo tendrían efectos sobre distintos marcadores de salud. Participaron 18 varones con sobrepeso u obesidad (VO₂pico: 30,3±4,4 ml/kg/min; BMI: 31.2±3.6) fueron estudiados antes y 72 h después del HIIT. Las sesiones de entrenamiento consistieron en 10x1 min al 90% frecuencia cardiaca máxima, separados por 1 min de recuperación. Se realizaron 6 ó 4 sesiones en las 2 semanas de intervención. Los resultados mostraron que después del entrenamiento no hubo cambios significativos en la composición corporal, VO₂pico, metabolismo de la glucosa o estado inflamatorio, en ningún grupo. Los autores concluyeron que 4 ó 6 sesiones de HIIT realizadas en un periodo de 2 semanas no tienen efecto sobre distintos marcadores de salud en personas con sobrepeso u obesos.

EL ENTRENAMIENTO DE INTENSIDAD ALTA Y EL DE INTENSIDAD MODERADA MODIFICA LOS FACTORES INFLAMATORIOS Y METABÓLICOS A CORTO PLAZO EN RESPUESTA AL EJERCICIO AGUDO

Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Lira y col, 2017; *Front Physiol* 8:856) cuyo objetivo fue comparar los efectos agudos y crónicos del entrenamiento intermitente de alta intensidad (HIIT) y el entrenamiento de estado estacionario (SST) en el perfil metabólico y la respuesta inflamatoria en hombres físicamente activos. Treinta

hombres activos con fines recreativos fueron asignados aleatoriamente a un grupo control (n = 10), grupo HIIT (n = 10) o grupo SST (n = 10). Durante 5 semanas, tres veces por semana, los sujetos realizaron HIIT (5 km 1 min al 100% de la velocidad aeróbica máxima intercalados por 1 minuto de recuperación pasiva) o SST (5 km al 70% de la velocidad aeróbica máxima), mientras que el grupo de control no realizó entrenamiento. Las muestras de sangre se recogieron en ayunas (~12 h), pre-ejercicio, inmediatamente después, y 60 minutos después de la sesión de ejercicio agudo (antes y después de las 5 semanas de entrenamiento). Las muestras de sangre se analizaron para conocer los niveles de glucosa, ácido graso no éster (NEFA) y citoquinas (IL-6, IL-10 y TNF- α) a través de un análisis de tres vías (grupo, período y momento de medición) con medidas repetidas en el segundo y tercer factor. Los resultados mostraron un efecto del momento de la medición (sesión aguda) con mayores valores de TNF- α y glucosa inmediatamente después del ejercicio en comparación con la sesión previa al ejercicio, independientemente del grupo o período de entrenamiento. Para IL-6 hubo un efecto de interacción para el grupo y el momento de la medición (sesión aguda), el aumento se produjo inmediatamente después de la sesión de ejercicio y después de 60 minutos en el grupo HIIT, mientras que en el SST el aumento se observó solo 60 minutos después, independientemente del período de entrenamiento. Para IL-10, hubo una interacción para el período de entrenamiento (antes y después del entrenamiento) y el momento de la medición (sesión aguda), en el que en el preentrenamiento, los valores que inmediatamente y 60 minutos después del ejercicio, en el período posterior al entrenamiento, los valores previos al ejercicio fueron menores que

inmediatamente después del ejercicio e inmediatamente después del ejercicio menores que 60 minutos después, también se observó que los valores inmediatamente posteriores al ejercicio fueron menores antes del entrenamiento que posteriormente, siendo todos los resultados independientes de la intensidad (grupo). Nuestro principal resultado es una interacción (aguda y crónica) para IL-10 que muestra la atenuación después del período de entrenamiento independiente de la intensidad del ejercicio.

¿PUEDEN LOS INTERVALOS FAVORECER LA RESPUESTA INFLAMATORIA Y LA DIVERSIÓN EN EJERCICIOS DEL TREN SUPERIOR?

Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Hoekstra y col, 2017; *Eur J Appl Physiol* 117: 1155-1163) cuyo objetivo fue investigar la respuesta inflamatoria y perceptiva de tres diferentes formas de ejercicio en el tren superior. 12 sujetos activos y fuertes desarrollaron 3 trabajos de cicloergómetro de tren superior en orden aleatorio: 30 min de intensidad moderada y continua (CON), 30 min de intensidad moderada con cambios en la cadencia (CAD) y 20 min de intervalos de alta intensidad (HIIT). Las muestras de sangre fueron tomadas pre, post y 2h post ejercicio para determinar las concentraciones plasmáticas de interleuquina (IL)-6 y IL-1ra. Las respuestas perceptivas pre, durante y después de los diferentes trabajos fueron evaluadas usando la "Feeling Scale", "Felt Arousal Scale", escala de esfuerzo percibido (RPE) y la "Physical activity enjoyment scale" (PACES). Los resultados mostraron que todos los trabajos fueron efectivos en inducir una respuesta inflamatoria aguda, indicada por incrementos similares en IL-6 después del ejercicio y en IL-1ra en las 2h posteriores al ejercicio. Mayor efecto negativo y más alto RPE fue encontrado en el trabajo HIIT en comparación con CON y CAD, mientras PACES mostró una

mayor puntuación en HIIT y CAD después del ejercicio en comparación con el trabajo CON. Como conclusiones los autores establecen que no hubo diferencias en las respuestas inflamatorias en el HIIT comparada con el ejercicio de moderada intensidad (CON y CAD) en el tren superior. Aunque el HIIT fue percibido como más extenuante y las puntuaciones afectivas fueron más negativas durante su trabajo, los ratios mayores de diversión para el HIIT y CAD reportados después del ejercicio sugieren que la inclusión de intervalos que varíen la intensidad favorece la diversión en ejercicios para el tren superior. El modo en que el ejercicio del tren superior es desarrollado parece no afectar las respuestas inflamatorias, sin embargo, puede ser utilizada su prescripción para favorecer la diversión.

EFFECTOS CARDIOMETABÓLICOS SIMILARES CON ENTRENAMIENTOS DE ALTA Y MODERADA INTENSIDAD EN PERSONAS SEDENTARIAS APARENTEMENTE SANAS

Padecer síndrome metabólico (MetS) aumenta el riesgo de morbilidad y mortalidad por enfermedades cardiovasculares, el entrenamiento físico es un factor importante en el tratamiento y la prevención de los componentes clínicos del MetS. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Ramirez-Vélez y col, 2017; *J Transl Med* 15: 118) cuyo objetivo fue comparar los efectos del entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) vs entrenamiento continuo de moderada intensidad (MCT) sobre los componentes clínicos del MetS en adultos sedentarios aparentemente sanos. Participaron 20 adultos que fueron distribuidos en 2 grupos en función del entrenamiento realizado: MCT, 60-80% HRR (frecuencia cardíaca de reserva); HIIT, 4x4 min 85-95% HRR con 4 min de recuperación activa al 65% HRR. Los resultados mostraron que el número de componentes de MetS disminuyó significativamente con MCT, pero no con HIIT. No se observaron diferencias entre grupos. Los cambios en el análisis

Z-score fueron mayores en el grupo MCT. Los autores sugieren que entre adultos aparentemente sanos de hábitos sedentarios HIIT y MCT ofrecen similar protección cardiometabólica frente a los factores de riesgo individualizados del MetS, pero difiere en sus efectos sobre la media de factores de riesgo por sujeto. Solo en el grupo HIIT se constató un descenso de la masa grasa corporal.

EL ENTRENAMIENTO FÍSICO MEJORA LOS NIVELES DE TESTOSTERONA LIBRE EN HOMBRES SEDENTARIOS DE EDAD AVANZADA

El impacto del entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIIT) sobre las concentraciones de hormonas sistémicas en hombres de edad avanzada ha sido escasamente estudiado. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Hayes y col, 2017; *Endocr Connect pii: EC-17.0082*) cuyos autores investigaron si los niveles de testosterona total (TT), globulinas fijadoras a hormonas sexuales (SHBG), testosterona libre (free-T) y cortisol, se modificaron después de un entrenamiento HIIT en 22 sujetos de estilo de vida sedentario y una edad media de 62±2 años. Los sujetos fueron evaluados en 3 fases, cada una de ellas separadas de 6 semanas de entrenamiento; base (fase A), después de una fase de entrenamiento general (fase B) y después de HIIT (fase C). Los resultados mostraron un aumento significativo en los valores de TT después de HIIT (~17%), con un mayor aumento en la fase de entrenamiento general (~10%). La free-T no se afectó por la fase de entrenamiento general, pero sí aumentó después de HIIT en comparación a los valores de base (~4,5%). El cortisol no modificó sus valores. Este estudio muestra que una combinación de entrenamiento general y de HIIT incrementó TT y SHBG en hombre sedentarios de edad avanzada, con un estímulo del HIIT suficiente para aumentar los niveles de free-T. Se necesitan más estudios para determinar

la importancia biológica de los pequeños aumentos de la free-T en hombres de edad avanzada. Una importante limitante del estudio estuvo en su diseño; así, es difícil concluir si los cambios observados en la fase C fueron debidos al HIIT o a la prolongación del estímulo del entrenamiento.

EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE ALTA INTENSIDAD DE CARRERA SOBRE EL ÁREA TRANSVERSAL DEL VASTO LATERAL EN ESTUDIANTES DESENTRENADOS

El ejercicio aeróbico cíclico ha mostrado que induce hipertrofia muscular en distintas poblaciones, mientras que existe una falta de información sobre los efectos de la carrera sobre la hipertrofia muscular. El entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (HIIT), además de un impacto comprobado sobre la función cardiovascular, parece constituir un estímulo suficiente para provocar hipertrofia muscular. Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Estes y col, 2017; *Int J Exerc Sci* 10: 137-145) cuyo objetivo fue investigar la influencia de un protocolo de carrera interválico de alta intensidad sobre la hipertrofia del músculo vasto lateral en una población joven, no entrenada. Participaron 12 estudiantes universitarios (2 hombres y 10 mujeres) que completaron 24,5±0,6 sesiones de HIIT corriendo durante 10 semanas. El protocolo consistió en 4 series de 4 min corriendo al 90-95% de la frecuencia cardíaca máxima, seguido de 3 min de reposo activo al 70% de la FCmax. Los resultados mostraron un aumento de la capacidad aeróbica relativa y absoluta (5,2 y 6,0%, respectivamente) como resultado de la intervención. El área transversal del músculo vasto lateral aumentó un 10,6±2,7% respecto al inicio del entrenamiento en el grupo de intervención, mientras que en el grupo control no se modificó. Los resultados soportan por primera vez una respuesta de hipertrofia frente a un ejercicio de carrera en personas sanas jóvenes. Los

autores sugieren que el ejercicio aeróbico de alta intensidad relativo a la carrera puede ser efectivo, no solo en la mejora de la capacidad cardiorrespiratoria, sino también en el aumento de tamaño muscular del cuádriceps.

IL-6, CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y MARCADORES DE DAÑO MUSCULAR TRAS PROTOCOLOS DE ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE ALTA INTENSIDAD

Recientemente se han publicado los resultados de un estudio (Cipryan L, 2017; *J Hum Kinet* 56: 139-148) cuyo objetivo fue investigar los cambios en la interleukina-6 (IL-6), la capacidad total antioxidante (TAC) y los marcadores de daño muscular (creatín quinasa (CK), mioglobina y lactato dehidrogenasa (LDH)) en respuesta a tres protocolos diferentes de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) idénticos en cuanto a carga externa. Doce hombres moderadamente entrenados participaron en las tres pruebas de HIIT que consistieron en un calentamiento, seguido de 12 min de 15s, 30s ó 60s de secuencias de HIIT con una ratio de trabajo/descanso de 1:1. Los marcadores bioquímicos de inflamación, estrés oxidativo y daño muscular se analizaron POST, 3h y 24h después del ejercicio. Todos los protocolos HIIT causaron un incremento inmediato de IL-6, TAC, CK, mioglobina y LDH. Las diferencias más pronunciadas entre las pruebas fueron encontradas en los cambios POST-ejercicio en IL-6 (tamaño del efecto \pm 90% intervalo de confianza: 1.51 ± 0.63 , 0.84 ± 0.34 , 1.80 ± 0.60 para los protocolos 15s/15s, 30s/30s y 60s/60s, respectivamente) y en mioglobina (1.11 ± 0.29 , 0.45 ± 0.48 , 1.09 ± 0.22 para los protocolos 15s/15s, 30s/30s y 60s/60s, respectivamente). No hubo diferencias sustanciales entre pruebas para las otras variables bioquímicas. En conclusión, los protocolos 15s/15s y 60s/60s podrían ser preferentes al protocolo 30s/30s para maximizar el estímulo de entrenamiento.



Arturo Casado

- Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte
- Prof. Univ. Isabel I

- Prof. Escuela de Entrenadores de la RFEA
- Master de Alto Rendimiento COE/UCAM

- Campeón de Europa de 1500 m atletismo (Barcelona, 2010)

HIIT en deportista de élite de 1500 m



Con muchos los recuerdos que me vienen a la cabeza después de una carrera deportiva como mediofondista. Cuando echo hacia atrás la vista y me doy cuenta de lo que he vivido y todas las sensaciones que he experimentado solo me puedo sentir muy privilegiado por ello.

Innumerables también son las sesiones de entrenamiento de alta intensidad interválicos que he realizado. Mi prueba siempre ha sido el 1500 metros lisos y los requerimientos de entrenamiento de alta intensidad eran máximos siempre. La cuestión es que este tipo de entrenamientos eran muy variados dependiendo del día de la semana y del momento de la temporada. La base aeróbica de un mediofondista debe ser siempre muy alta. Quizás no como la de un fondista pero muy cercana (Ingham Whyte, Pedlar, Bailey, Dunman y Nevill, 2008). Del mismo modo, el nivel de velocidad máxima y potencia glucolítica requerido es altísimo también, y, lógicamente, todas las diferentes intensidades intermedias como la capacidad glucolítica o la potencia aeróbica. Es por ello por lo que el rango de sesiones de entrenamiento fraccionado con respecto al volumen, intensidad, repeticiones y recuperaciones es muy amplio de cara a conseguir todos esos diferentes objetivos a nivel fisiológico. Durante este capítulo trataré de describir cómo eran esas sesiones que realizaba durante todo el año y qué objetivos buscaba a nivel fisiológico. Así mismo, comentaré los tiempos realizados en dichas sesiones y las sensaciones que tenía al realizarlas.

En primer lugar, debo mencionar la gran cantidad de estudios que hacen referencia a la distribución de intensidades de entrenamiento óptimas para el rendimiento en corredores de media y larga distancia. En una revisión reciente (Kenneally, Casado y Santos-Concejero, 2017), se comprobó que la distribución de intensidades de entrenamiento óptima en diferentes poblaciones de corredores de larga y media distancia se basaba en un 80% de intensidad de entrenamiento aproximada en el primer umbral ventilatorio y el 20% restante en intensidades superiores.

Por ello, es común encontrar en cualquier programa de entrenamiento para corredores de media y larga distancia que la mayor parte del mismo es realizado a baja intensidad, una intensidad sustancialmente inferior a la de su marca personal de la prueba que están preparando. En este sentido, es apropiado recordar a clásicos entrenadores como el neozelandés Arthur Lydiard, que basaba su método de entrenamiento en un primer periodo en el que, durante doce semanas, la única actividad de entrenamiento era la carrera continua de larga distancia hasta acumular medias de 160 kilómetros durante muchas semanas seguidas, y todo esto también lo utilizaba en corredores de 1500m y de 800m (Lydiard, 2013). Uno de sus más aventajados pupilos, el también neozelandés Peter Snell (bicampeón olímpico en 800m y 1500m en los Juegos Olímpicos de Tokio de 1964), durante la fase inicial de la temporada 1961-1962 corrió una maratón como parte de su entrenamiento y realizó el record del mundo de 800m en la parte final (1 minuto y 44 segundos) en una pista de hierba en Christchurch, Nueva Zelanda (Snell y Gilmour, 1965).

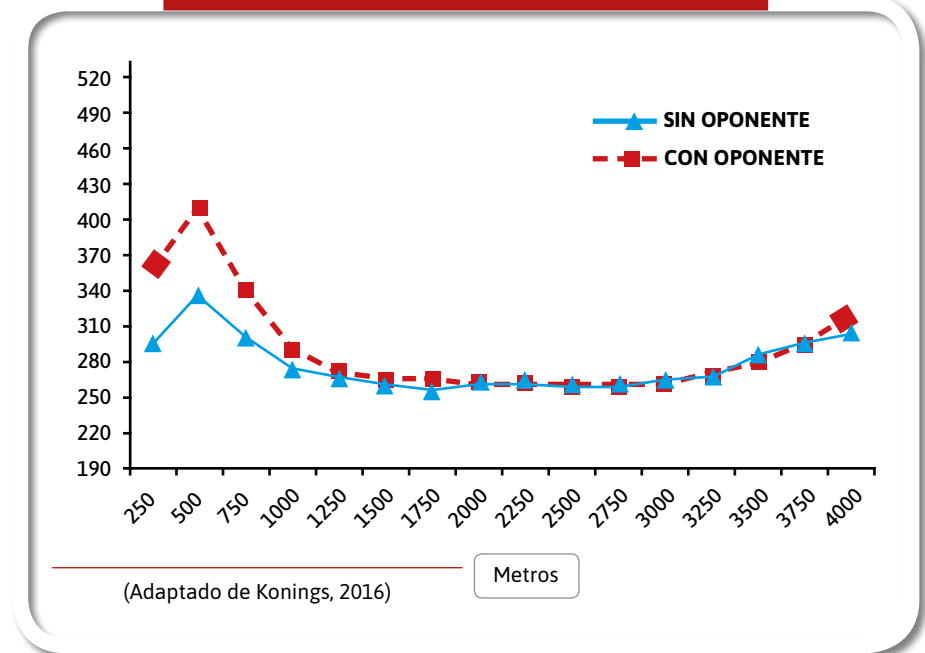
Por lo tanto, la realización de una gran cantidad de volumen de entrenamiento a intensidades bajas e inespecíficas durante la temporada de un corredor de media o larga distancia es necesaria para poder conseguir un rendimiento importante. Esto se puede realizar de diversas formas con respecto a la periodización del entrenamiento, entendida como asignación de una serie de objetivos de entrenamiento en diferentes periodos temporales distribuidos a lo largo de la temporada.

«La distribución óptima de intensidades de entrenamiento en corredores de larga y media distancia se basa en **un 80% de intensidad alrededor del primer umbral y el 20% restante en intensidades superiores**»

Mi preparación como corredor siempre la ha llevado a cabo mi entrenador de toda la vida, Arturo Martín Tagarro. Afortunadamente para mí, él es un gran técnico, uno de los mejores entrenadores que nuestro atletismo ha tenido. Pero no me puedo olvidar de mis compañeros de entrenamiento que me acompañaron durante mi carrera deportiva. Con ellos compartí muchos momentos de “sufrimiento satisfactorio” en esas sesiones de entrenamiento interválico de alta intensidad. Algunos como Víctor Seco, Javier Arreo y muchos más me hicieron de “liebre” en gran parte de esas sesiones, llevándome “en volandas” como decimos en el argot atlético y permitiéndome realizar entrenamientos necesarios para conseguir el nivel de forma física y mental necesario para conseguir los objetivos deportivos que logré alcanzar.

En este sentido, uno de los aspectos que se han tratado en la literatura sobre el entrenamiento y la carrera de alta intensidad es el efecto que tiene sobre éste el comportamiento de otros corredores. En un estudio de Konings, Scoenmakers, Walker y Hettinga (2016), se realizó un test máximo individual de 4 kilómetros en laboratorio a doce ciclistas y se midió la potencia desarrollada por ellos en parciales cada 250 metros.

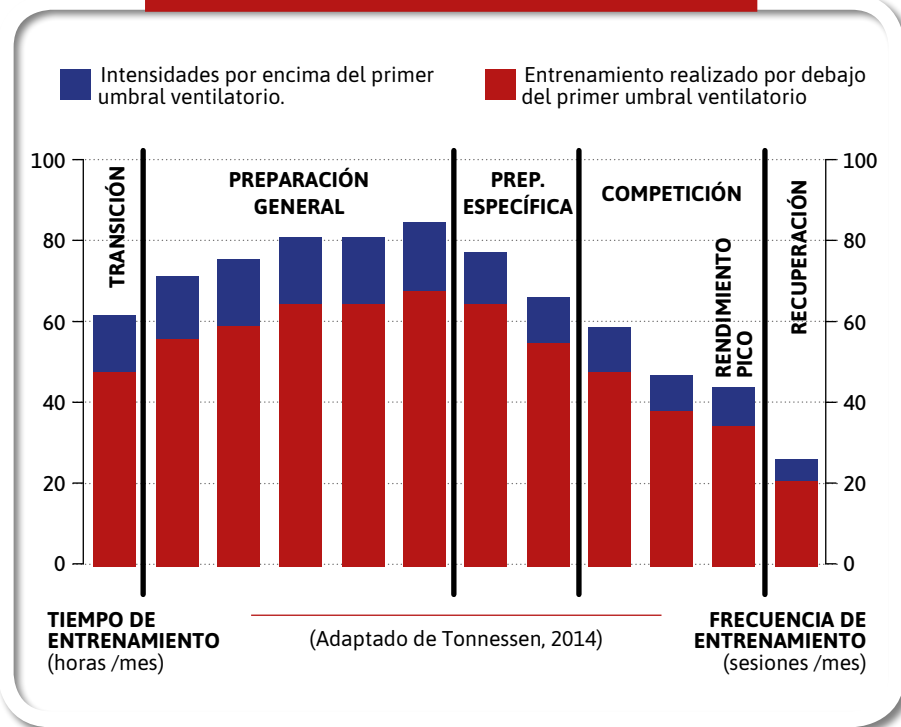
→Figura 101. Efectos en la potencia desarrollada por ciclistas con oponente virtual o sólo en un test máximo de 4 kilómetros.



Además posteriormente se llevó a cabo un test en el que se utilizaba un oponente virtual que realizaba una salida muy rápida. El resultado fue que la potencia desarrollada por los ciclistas era mayor cuando existía la presencia de dicho oponente que cuando no existía (figura 101). Todo esto sin tener en cuenta el efecto del “drafting” (beneficios aerodinámicos que supone desplazarse en un pelotón o grupo de corredores) que no existía en este experimento.

El modelo de periodización elegido por mi entrenador siempre fue el tradicional (Matveyev, 1981). De este modo, en la primera parte de la temporada realizábamos grandes volúmenes de entrenamiento desarrollados a baja intensidad para progresivamente ir bajándolos durante la temporada e ir subiendo la intensidad al final del macrociclo en verano, realizando las sesiones de entrenamiento más específicas para la prueba de 1500m y de mayor intensidad. Por otra parte, realizábamos un “pequeño paréntesis” mediante un reducido periodo competitivo en invierno para poder rendir adecuadamente en las competiciones de pista cubierta.

→Figura 102. Distribución de intensidades de entrenamiento de 11 de los mejores esquiadores de fondo de la historia.



Este modelo supone grandes cantidades de carrera continua a baja velocidad como base de la preparación durante toda la temporada pero de forma mucho más acentuada en la parte inicial de la misma. Sin embargo, siempre manteníamos un porcentaje constante de entrenamiento de alta intensidad durante toda la temporada. De la misma manera que progresivamente la cantidad de carrera continua más “lenta” iba descendiendo partiendo de un volumen más alto, esto también sucedía con la parte de carrera más intensa que se realizaba de forma fraccionada, a la vez que la intensidad de la misma continuaba incrementándose.

Este tipo de periodización es muy común en la práctica habitual de muchos deportes cíclicos de resistencia. En el estudio de Tonnessen, Sylta, Haugen, Hem, Svendsen & Seiler (2014) se demostró como once esquiadores de fondo que habían llegado a tener medallas de oro en grandes Campeonatos (Campeonatos del Mundo, Juegos Olímpicos o Campeonatos de Europa) realizaban un modelo de periodización tradicional en el que el 90% de la distribución de intensidades de entrenamiento se realizaba a intensidades lentas hasta el primer umbral ventilatorio. Solo el 10% restante se podría considerar entrenamiento de alta intensidad (figura 102). Sin embargo, realizar un sistema de entrenamiento así supone que es mucha la distancia semanal que se recorre y, por tanto, aunque solo represente a un 10% de la cantidad total, la distancia recorrida por estos deportistas a alta intensidad es ciertamente importante, también. Como veremos a continuación, el entrenamiento de alta intensidad se puede diferenciar en distintos objetivos a nivel fisiológico.

Por lo tanto, el tipo de entrenamiento fraccionado interválico de alta intensidad que yo podía realizar difería mucho en función de la época del año en la que lo realizaba. Las tablas 1 y 2 muestran dos semanas de entrenamiento realizadas por mí en diciembre de 2004 (pertenecía a la categoría de menos de 23 años) y en julio del 2010, respectivamente.

«En la primera parte de la temporada realizábamos grandes volúmenes de entrenamiento a baja intensidad para progresivamente ir bajando el volumen y subiendo la intensidad al final del macrociclo»

→Tabla 1. Semana de entrenamiento realizada en diciembre del 2004 de aproximadamente 150 kilómetros (categoría sub 23).

	MAÑANA	TARDE
LUNES	14km + técnica de carrera + técnica de carrera en vallas + 10 x 400m rec. 1' (media de 60") + 2km	10km
MARTES	5km + Fartlek de 8 kilómetros por sensaciones + 2km	10km
MIÉRCOLES	3km + Gym + 14km + 18x100m cuestas + 3km + pliometría	Desc.
JUEVES	4km + 10x1000m rec. 1,5' (media de 2'y 45") + 3km	10km
VIERNES	3km + Gym + 16km + técnica de carrera + 6x100m	Desc.
SÁBADO	4km + 2x6000m rec. 2' (media de 17'y 50")+ 3km	Desc.
DOMINGO	12km	Desc.

→Tabla 2. Semana de entrenamiento realizada en julio del 2010 (previa al título europeo de 1500 metros) de aproximadamente 100 kilómetros.

	MAÑANA	TARDE
LUNES	6km + Técnica de carrera + 3x (4 x 200m rec. 1') Rec. 3' (media de 25") + 1km	
MARTES	6km Intensos + 6km de Fratlek (intensos) + 2km	
MIÉRCOLES	6km + técnica de carrera + 4x1000m rec. 3'(media de 2'y 30")+ 2km	
JUEVES	12km + Gym + Técnica de carrera + 6 x 100m	
VIERNES	6km + Técnica de carrera + 3 x (4x 300m rec. 1') Rec. 3' (media de 40")+ 1k	
SÁBADO	12km + técnica de carrera + 6 x 100m	
DOMINGO	12km + técnica de carrera + 8 x 150m (lastre de 4kg) (media de 17" Rec. 3'+ 1km	

Sin embargo, lo que siempre he realizado y he mantenido constante durante todos los periodos de preparación son tres sesiones semanales enfocadas en la mejora de estas tres capacidades, respectivamente:

- La eficiencia aeróbica mediante sesiones de máximo estado estable de lactato.
- La capacidad y potencia aeróbica con sesiones realizadas a intensidades cercanas al VO_2 max.
- Sesiones que servían de introducción a la capacidad anaeróbica sin entrar en esta capacidad en los primeros meses de temporada pero sí corriendo a ritmos específicos de competición durante todo el transcurso de la temporada.

También realizaba algunas sesiones enfocadas a ritmos superiores a los de competición (velocidad y/o la “incorrectamente” denominada capacidad anaeróbica aláctica).

En la parte inicial de la temporada, una de las sesiones favoritas de mi entrenador Arturo Martín se basaba en dos repeticiones de 4000 metros que realizábamos durante la primera fase de la temporada. Ese entrenamiento trataba de alcanzar una intensidad de máximo estado estable de lactato (MLSS) o algo superior, a ritmos cercanos de 3 minutos en cada kilómetro en el bosque del Cerro Garabitas de la Casa de Campo de Madrid. La recuperación entre las dos repeticiones era de 2 a 3 minutos. Esta sesión la realizábamos normalmente los sábados después de toda la semana de altas cargas de entrenamiento. Es una sesión típica que realizan gran parte de los grupos de entrenamiento del área madrileña dado que dicho circuito mide 4 kilómetros. Sin embargo, es un circuito duro lleno de cuestas pero que a la vez tiene un piso estable y adecuado para correr a altos ritmos. Las sensaciones al realizar esta sesión son siempre de dureza. El desarrollo aeróbico requerido por las carreras de media distancia durante el otoño y el invierno es tan importante que la sensación de fatiga (nunca puede ser excesiva) se convierte en habitual.

«El desarrollo aeróbico requerido por las carreras de media distancia durante el otoño y el invierno es tan importante que **la sensación de fatiga (nunca puede ser excesiva) se convierte en habitual**»

Aunque no es un ritmo máximo, trabajar de forma sostenida a ritmos de máximo lactato de estado estable requiere de un gran esfuerzo. Este tipo de esfuerzos lo realizábamos en cualquier condición climatológica (frío, lluvia, calor...) y una de las ventajas que tiene es que no es un ritmo potencialmente peligroso para que se produzcan lesiones musculares asociadas a su utilización. Estas repeticiones las íbamos alargando hasta llegar a realizar sesiones de dos repeticiones de seis kilómetros. Cuando conseguíamos realizar estas últimas sesiones a ritmos similares a los que meses atrás habíamos conseguido realizar las dos repeticiones de cuatro kilómetros, significaba que habíamos mejorado sustancialmente dos aspectos:

- Éramos capaces de mantener nuestro ritmo de máximo estado estable de lactato (MLSS) durante más tiempo.
- Habíamos conseguido mejorar nuestro ritmo de MLSS.

Otra de las sesiones típicas de entrenamiento que realizábamos era ocho o diez repeticiones de 1 kilómetro con recuperaciones de 1,5 minutos. Normalmente, era un entrenamiento de jueves en la Casa de Campo, en el mismo circuito en el que hacíamos las repeticiones de 4 y 6 kilómetros. Esta sesión la realizábamos a niveles de $VO_2\text{max}$ y era idónea para la mejora de la eficiencia y potencia aeróbica. Cuando se trabaja con atletas muy entrenados de altísimo nivel se suelen encontrar ciertas ventajas. La realidad es que esta unidad de entrenamiento responde a un HIIT clásico pero con una diferencia fundamental, la recuperación que es demasiado escasa para ese tipo de entrenamiento porque al sujeto no le da tiempo a recuperar lo suficiente para poder volver a trabajar a esta intensidad tan alta.

Sin embargo, los atletas que tienen una gran base aeróbica son capaces de desarrollar intensidades similares con menos tiempo de recuperación entre repeticiones porque sencillamente se recuperan antes. Esto también les permite acercarse más al ritmo de MLSS al ritmo de $VO_2\text{max}$ individual ya que esta sesión acaba “pareciéndose” un poco más a una sesión de MLSS al reducir el tiempo de recuperación y, por tanto, “acercar” entre sí más las repeticiones. Estas sesiones tienen muchas variaciones como 4 repeticiones de 2 kilómetros con 1,5 minutos de recuperación, 3 repeticiones de 3 kilómetros con recuperaciones de 1 minuto y 45 segundos. Durante mi carrera deportiva, los ritmos a los que realizaba

estas repeticiones eran de aproximadamente desde 2 minutos y 45 segundos hasta 2 minutos y 52 segundos cada kilómetro.

Con respecto a los ritmos, como corredor cometí un error durante mi carrera que fue obsesionarme con ellos. En muchas ocasiones, no quise entender conscientemente que el objetivo del entrenamiento supone aplicar un estímulo en el organismo para obtener una determinada respuesta. Lo que realmente pretendemos con el entrenamiento es alcanzar una determinada carga interna en el organismo. La podemos denominar intensidad de $VO_2\text{max}$ o de máximo estado estable de lactato, por ejemplo, pero esa intensidad no se mide con un ritmo de carrera, que está representada a su vez por un nivel de carga externa, sino que se mide fundamentalmente con una respuesta determinada por parámetros fisiológicos u objetivos (la frecuencia cardíaca, el lactato sanguíneo...) o más subjetivos (RPE).

«Los atletas con una gran base aeróbica son capaces de *desarrollar intensidades similares con menos tiempo de recuperación entre repeticiones*»

Entender adecuadamente que un entrenamiento (aunque sea de alta intensidad) está enfocado en conseguir un nivel determinado de carga interna nos puede ayudar mucho a entrenar de forma más adecuada, a disfrutar más del propio entrenamiento y a darle la importancia justa y necesaria que tiene. El fallo más común es constantemente comparar ritmos de entrenamiento con otras sesiones de otros tiempos. Esto finalmente no es lo adecuado porque el corredor se termina frustrando al comprobar que muchas sesiones no terminan realizándose a los mismos ritmos que antaño. De lo que no nos damos cuenta es que esto no significa que sean peores. Muchas veces se debe a la fatiga acumulada que va fluctuando constantemente, no solo por semanas, si no por días. Esta fluctuación nos hace sentirnos un día o una sesión más cansados que en otras, y esto por supuesto que influye en el rendimiento de la sesión en sí, pero no significa que tenga un efecto negativo en la asimilación del entrenamiento ni en el rendimiento en competición. Podría afectar al rendimiento en el caso en el que esa sesión se realice de forma más intensa de lo requerido buscando

esos ritmos que antes hacíamos y que luego no salen. En estos casos es muy común trabajar ritmos más intensos que los que se han prescrito previamente a la realización de la sesión de entrenamiento, como puede ser pasar de trabajar la potencia aeróbica a trabajar la capacidad glucolítica. En este caso, estaríamos fundamentalmente realizando un nivel de carga interna bastante mayor que el programado con consecuencias negativas sobre el rendimiento en competición y sobre la salud del deportista ligadas a aspectos relativos al sobentrenamiento.

Dicho todo esto, no debemos engañarnos y los tiempos realizados en sesiones de entrenamiento de alta intensidad son un indicativo del nivel de rendimiento del deportista y se pueden comparar con otros tiempos aunque no es aconsejable comparar sesiones concretas si no un conjunto de sesiones o una media de los ritmos realizados en éstas durante un periodo de dos semanas o similar, que de algún modo cubran todas las fluctuaciones del rendimiento originado por la fatiga propia del entrenamiento.

La sesión de entrenamiento de los lunes, en el principio del periodo preparatorio, suponía una introducción a la capacidad glucolítica en 10 repeticiones cortas de 200 metros con una recuperación de 200 metros al trote en poco más de un minuto. Normalmente, realizábamos esta sesión en la pista de atletismo dando vueltas a la misma. Los ritmos eran cercanos a los de competición de los 1500 metros lisos. En mi caso, realizaba cada repetición con relativa normalidad durante los dos primeros meses de entrenamiento de la temporada a una media de 28 segundos. El objetivo de esta sesión es trabajar y recordar los ritmos de competición. Como indican Martin y Coe (1993), entrenar las fibras musculares que son reclutadas a ritmos específicos de competición tiene una gran importancia debido al Principio de la Especificidad del Entrenamiento. De todos modos, este aspecto neuromuscular es solo una parte del citado principio del entrenamiento. La otra parte en el entrenamiento de las carreras de media y larga distancia es realizar o acercarse a la distancia de la competición. Debido a una sencilla lógica, si juntamos estos dos aspectos nos estaremos refiriendo a un nivel máximo y total de especificidad con respecto a la competición, que es la propia competición en sí misma.

Cuando el objetivo principal del entrenamiento es el máximo de rendimiento en competición, es crucial que en el periodo de tiempo en el que se realizan las competiciones más importantes de una temporada, se consiga estar capacitado para realizar durante el entrenamiento ritmos

y distancias similares a los de competición. Por ello, en deportes como las carreras de media y larga distancia de Atletismo, una periodización tradicional puede resultar adecuada debido a que parte de ese principio de especificidad progresiva permite la realización de ritmos y distancias específicos en el periodo competitivo, aprovechando al mismo tiempo el desarrollo de una gran base aeróbica durante periodos previos de la temporada. En este sentido, todos estos aspectos específicos y generales son necesarios, pero un modo de introducir de forma progresiva este componente específico de la carga es utilizar ritmos específicos con volúmenes mucho menores a los de competición.

Sin embargo, este aumento progresivo de la especificidad es necesario, también. Y hay varias formas de alcanzarlo. Por un lado, se pueden subir las distancias, acercándolas a la distancia de competición. Por otro lado, se puede reducir la recuperación. Una de las estrategias que Arturo

«Cuando el objetivo principal del entrenamiento es el máximo rendimiento en competición, es crucial que en el periodo de competiciones más importantes de una temporada, se consigan realizar ritmos y distancias similares a los de competición durante el entrenamiento »

Martín realizaba era la de reducir la recuperación en esas repeticiones de 200 metros. De este modo, pasábamos de realizar diez repeticiones de 200 metros recuperando 200 metros en poco más de un minuto a realizar diez repeticiones de 200 metros recuperando 100 metros entre 28 y 30 segundos. Esta sesión de entrenamiento la recuerdo “asfixiante” porque no tenía tiempo suficiente para respirar durante el periodo de recuperación y ya tenía que salir de nuevo para correr en ritmos de 28 o 27 segundos en la siguiente repetición de 200 metros. Sin embargo, la sensación de acabar la sesión en los ritmos establecido es impagable. Otra de las estrategias de Arturo era subir la distancia de las repeticiones. En este sentido, otra sesión típica que he realizado mucho durante mi carrera deportiva ha sido la “clásica” 10 repeticiones de 400m con una recuperación de 1 minuto en aproximadamente 1 minuto cada repetición.

«El arte del entrenamiento de los corredores de media distancia se basa, **en saber prescribir el nivel adecuado de carga interna en cada entrenamiento de alta intensidad, además del nivel de recuperación óptimo entre cada sesión**»

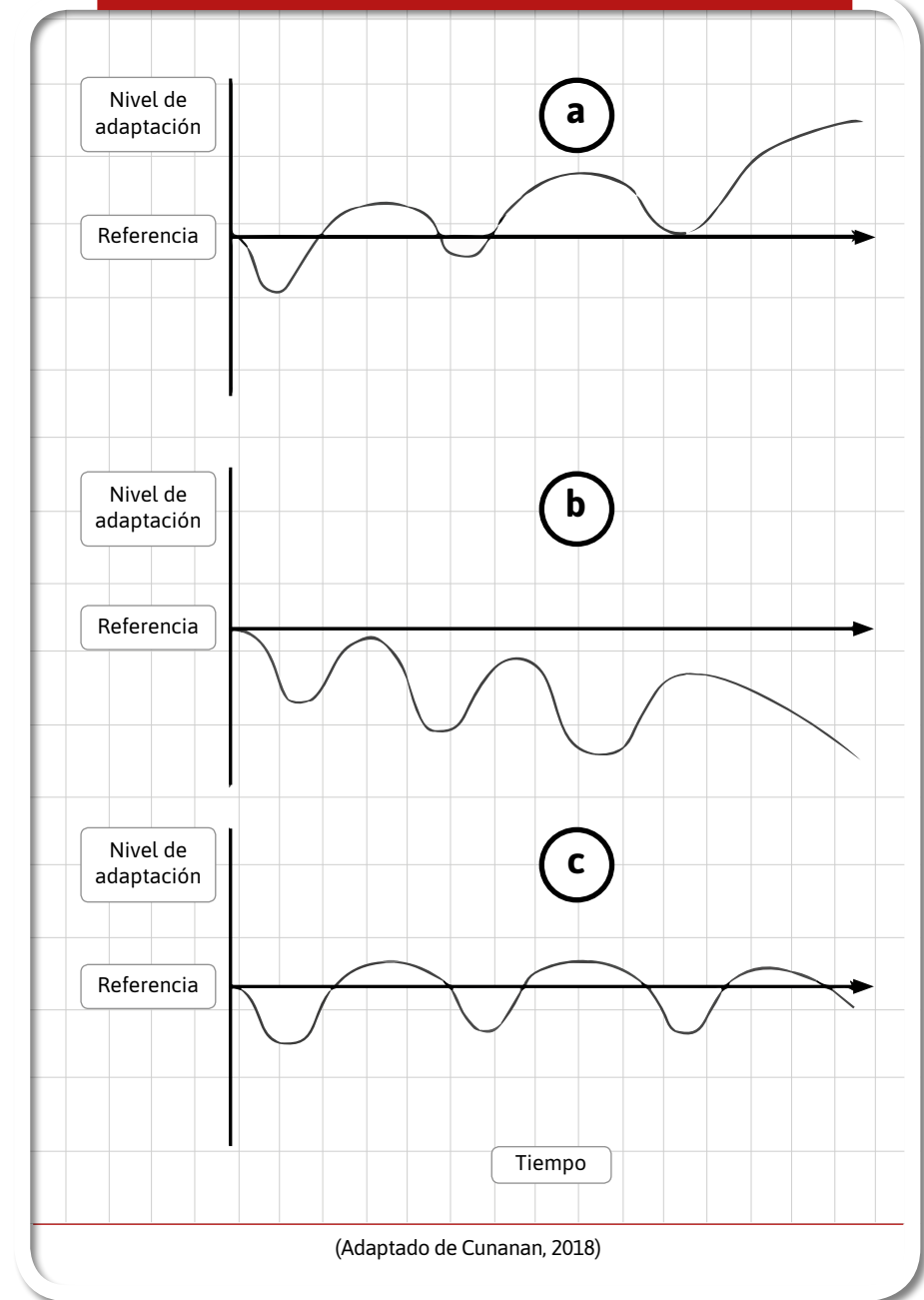
El entrenamiento de alta intensidad de las carreras de media distancia es especialmente duro. Hay determinadas sesiones en las que sin llegar a ser una competición debes asumir que vas a sufrir mentalmente porque tienes que llevar al organismo casi al límite. Esa capacidad mental, por lo tanto, también es fundamental de cara a mejorar más fácilmente y conseguir resultados positivos en competición.

Además de ese sufrimiento mental, está el sufrimiento físico que este tipo de entrenamiento conlleva. Sin lugar a dudas, de las sesiones de entrenamiento realizadas durante la semana, las relativas al desarrollo de alta intensidad son las que mayor nivel de carga interna conllevan. En un artículo de revisión muy reciente (Cunanan, DeWeese, Wagle, Carroll, Sausaman, Hornsby, Haff, Triplett, Pierce y Stone, 2018), se aceptaba el Síndrome General de Adaptación propuesto por Seyle (1950) como modelo práctico a la hora de entender las relaciones entre estrés, adaptación y fatiga. Según estos autores, las diferentes fases por las que pasa el organismo en relación a la aparición de un estímulo mayor a los que el organismo está adaptado (alarma, reacción y adaptación) son aplicables a los modelos de periodización de entrenamiento actuales. En este sentido, consideran que la utilización del estímulo idóneo con respecto al nivel de carga interna de entrenamiento permitirá al organismo mejorar sus capacidades de forma adecuada durante el proceso de entrenamiento. De este modo, diferentes situaciones pueden aparecer dependiendo de la magnitud de la carga interna y de cómo ésta sea distribuida (*figura 103*). Dentro de las situaciones que pueden aparecer en el contexto del entrenamiento, estos autores describen específicamente tres de ellas:

- El estímulo o nivel de carga es excesivo y/o el tiempo de recuperación hasta el siguiente estímulo es excesivamente corto y de forma progresiva el nivel de rendimiento decae.
- El estímulo o carga y el tiempo de recuperación hasta el siguiente estímulo provocan un mantenimiento del rendimiento a lo largo del tiempo sin aumento ni descenso del mismo.

- El estímulo o nivel de carga es adecuado y el tiempo de recuperación hasta el siguiente estímulo es también adecuado y, por lo tanto, el nivel de rendimiento progresivamente aumenta.

→Figura 103. Diferentes niveles de adaptación a la carga de entrenamiento en función de la magnitud de la misma y del tiempo de recuperación entre estímuloscardiológicos



De algún modo, el arte del entrenamiento de los corredores de media distancia se basa en saber prescribir el nivel adecuado de carga interna en cada entrenamiento de alta intensidad. Y una vez que esto está claro para cada sujeto, saber prescribir el nivel de recuperación óptimo entre cada sesión. En mi caso, mi entrenador sabía que tres sesiones de alta intensidad a la semana como las que he descrito eran idóneas para la mejora de mi rendimiento en el contexto de la élite mundial de esta modalidad deportiva. También sabía que las tenía que distribuir en la semana de forma amplia para permitir la recuperación óptima entre las mismas, decidiendo que fueran realizadas en lunes, jueves y sábado.

La realidad es que alcanzar este equilibrio es complicado porque requiere de niveles de observación, reflexión e intuición altos por parte del entrenador. Además, cuanto mayor es el nivel deportivo, mayor es el nivel de complejidad para alcanzarlo. Ayudarnos con métodos de medición de las cargas como la frecuencia cardiaca en sesiones en las que se alcancen intensidades hasta el $VO_2\text{max}$ y/o niveles de lactato sanguíneo siempre ayuda a asegurarnos que los niveles de carga interna propuestos se consiguen alcanzar en la realidad. Y en el caso de que no se hayan conseguido alcanzar o que se hayan sobrepasado (algo bastante común), es importante conocer lo que realmente se ha entrenado para regular de forma adecuada los niveles de recuperación posteriores. De este modo, conseguiremos que el deportista progrese adecuadamente alejado de los síntomas del sobentrenamiento o de las lesiones que también están asociadas a niveles de carga interna excesivos (Gabett, 2016).

Una vez en el periodo de competición, las sesiones de alta intensidad se volvían más intensas y los volúmenes realizados en éstas más cortos. Es en este periodo donde nos aprovechábamos de todo ese desarrollo de la base aeróbica que habíamos llevado a cabo durante toda la temporada y que nos capacitaba para realizar esas sesiones tan específicas, intensas y duras. Aunque en esta parte de la temporada la mayoría de las sesiones

estaban enfocadas a la mejora de la capacidad glucolítica, también había una necesidad de mantener los niveles de base aeróbica en sus componentes más esenciales como la potencia aeróbica y la eficiencia aeróbica. En vez de 2 repeticiones de 6 kilómetros, realizábamos una. O en vez de 10 repeticiones de 1 kilómetro recuperando 1,5 minutos, realizábamos cuatro con tres minutos de recuperación. Sin embargo, con respecto a la capacidad glucolítica, las repeticiones de 200 metros pasaban de realizarse en 28 o 27 segundos a realizarse en 25 o 24 segundos pero aumentando la recuperación: 3 x (4 x 200m rec. 1´) Rec. 3´. Esta sesión específicamente era muy dura porque se realizaba a un ritmo incluso más rápido del que recorría la distancia de 800 metros en competición. En este tipo de sesión, los niveles de lactato sanguíneo se incrementaban a niveles altísimos y tenía que tener la capacidad de mantenerlos durante un periodo de tiempo prolongado para poder concluir con éxito el entrenamiento.

La clave para aguantar estas sesiones tan intensas se basaba en la reducción de los volúmenes de entrenamiento que realizábamos en este periodo con respecto al periodo preparatorio. Normalmente, pasábamos de realizar 150 kilómetros semanales a realizar de entre 80 a 100 kilómetros. Finalmente, la importancia de las sesiones de alta intensidad a ritmos y distancias específicos de competición es máxima y este tipo de sesiones de entrenamiento está directamente relacionado con el rendimiento en competición. Sin embargo, no podemos olvidar que el desarrollo de estas sesiones es sostenido por un trabajo de base aeróbica con métodos de entrenamiento continuos e incluso interválicos de menor intensidad. Estos dos aspectos se constituyen en sí mismo como un todo que conforma la preparación del corredor de media distancia de alto rendimiento.

Esta forma de entrenar me llevó a conseguir realizar una marca de 3 minutos y 32 segundos en 1500 metros y de 1 minuto y 44 segundos en 800 metros. Además de grandes resultados y posiciones destacadas en grandes campeonatos internacionales. Siempre le estaré agradecido a mi entrenador Arturo Martín la labor que realizó en mi desarrollo como atleta y consecución de mi máximo rendimiento deportivo. Y también en otros aspectos, quizás más importantes incluso, como el desarrollo y formación personal en grandes valores que siempre me ayudarán y formarán parte de mí.

«Esta forma de entrenar me llevó a conseguir realizar una marca de 3 minutos y 32 segundos en 1500 metros y de 1 minuto y 44 segundos en 800 metros. Además de grandes resultados y posiciones destacadas en grandes campeonatos internacionales»



Dra **Amelia Guadalupe Grau**
Departamento de Salud y
Rendimiento Humano. Facultad
de Ciencias de la Actividad Física
y del Deporte -INEF. Universidad
Politécnica de Madrid.



HIIT y vías de señalización molecular



os mecanismos moleculares que regulan los procesos de adaptación en respuesta al entrenamiento de alta intensidad, obedecen a la llamada **“hipótesis de transducción de señales en respuesta al ejercicio”**.

Esta hipótesis establece que proteínas sensoras específicas detectan señales relacionadas con el ejercicio, las cuales son procesadas por redes o vías de transducción. Estas señales regulan eventos finales de esas cascadas de señalización, incluyendo la transcripción génica, la traducción o síntesis de proteínas y la degradación de proteínas (*Figura 104*). El resultado final son tejidos y órganos modificados que se han adaptado al ejercicio. Este es el caso del músculo esquelético, un tejido sumamente plástico y cuyo fenotipo varía según la especificidad del esfuerzo que realice. Muy simplificado, el proceso de adaptación al esfuerzo de la célula muscular tendría la siguiente secuencia: El ejercicio de alta intensidad produce principalmente dos señales en la fibra muscular:

- 1** | **Un aumento en las concentraciones de ADP y AMP**, que señalan un incremento del uso de ATP.
- 2** | **Un aumento en la concentración de Ca^{2+}** , que indica una mayor actividad contráctil.

En este capítulo veremos cómo estas señales gatillan adaptaciones en el músculo esquelético como son el aumento en la oxidación de ácidos grasos o la biogénesis mitocondrial.

VÍA DE SEÑALIZACIÓN MEDIADA POR ATP

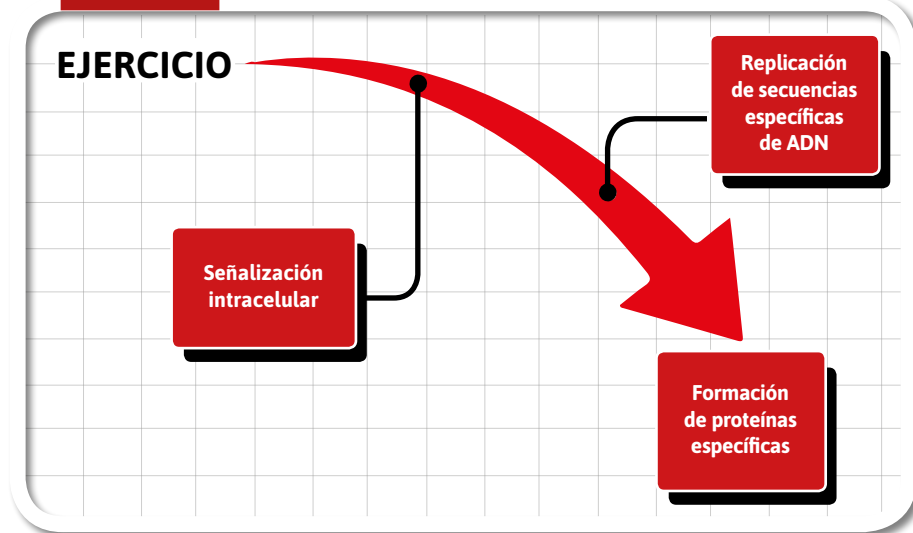
Durante el ejercicio, el músculo esquelético convierte la energía química mediante la reacción de hidrólisis del ATP ($\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{Pi}$) a energía mecánica para la contracción y producción de calor. La concentración muscular de ATP es de alrededor de 3.5-8 mmol/kg en el músculo esquelético en reposo y desciende sólo un poco incluso durante el ejercicio máximo hasta el agotamiento. El ATP se mantiene constante aún cuando la hidrólisis y utilización del ATP muscular puede aumentar más de 200 veces durante contracciones máximas cortas comparadas con el músculo en reposo. Esta estabilidad en las concentraciones de ATP viene dada en un principio mediante la resíntesis de ATP a través de:

- **La rápida reacción de Lohmann:** ($\text{ADP} + \text{fosfocreatina} \rightarrow \text{ATP} + \text{creatina}$),
- **La reacción de la mioquinasas:** ($\text{ADP} + \text{ADP} \rightarrow \text{ATP} + \text{AMP}$),
- **Glucólisis**
- **Fosforilación oxidativa en las mitocondrias.**

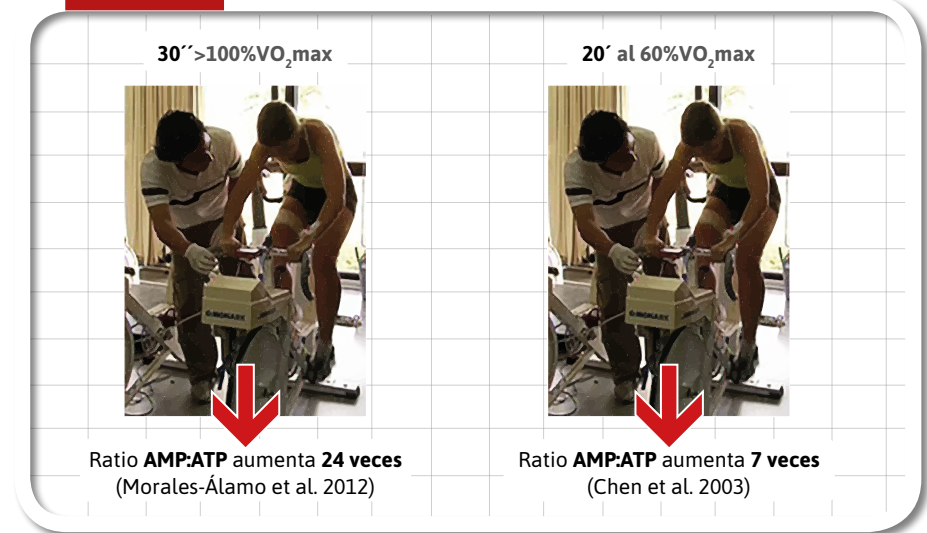
¿CÓMO SE DETECTAN ENTONCES LOS CAMBIOS EN EL RATIO ATP:AMP?

Siempre que se esté utilizando ATP, su concentración milimolar desciende sólo unos pocos micromoles, puesto que la reacción de Lohmann rápidamente estabiliza la concentración de ATP. Sin embargo, este pequeño descenso de ATP se traduce en un cambio relativamente grande de la concentración de ADP y AMP, puesto que estas sustancias se encuentran en un rango de concentración micromolar. Por lo tanto, un descenso relativo de ATP de menos de un 1% se traduce en más del doble del aumento en ADP y AMP. Estos incrementos son moderados durante el ejercicio de baja intensidad y larga duración (p.ej. 20 minutos de pedaleo al 60% del $\text{VO}_2\text{máx}$ aumenta el ratio ATP:AMP alrededor de 7 veces), y en el caso del ejercicio tipo HIIT son grandes y se mantienen durante un periodo de tiempo corto (p.ej. 30 segundos de pedaleo a la máxima intensidad posible aumenta el ratio ATP:AMP alrededor de 24 veces inmediatamente después del ejercicio) (figura 105).

→Figura 104



→Figura 105



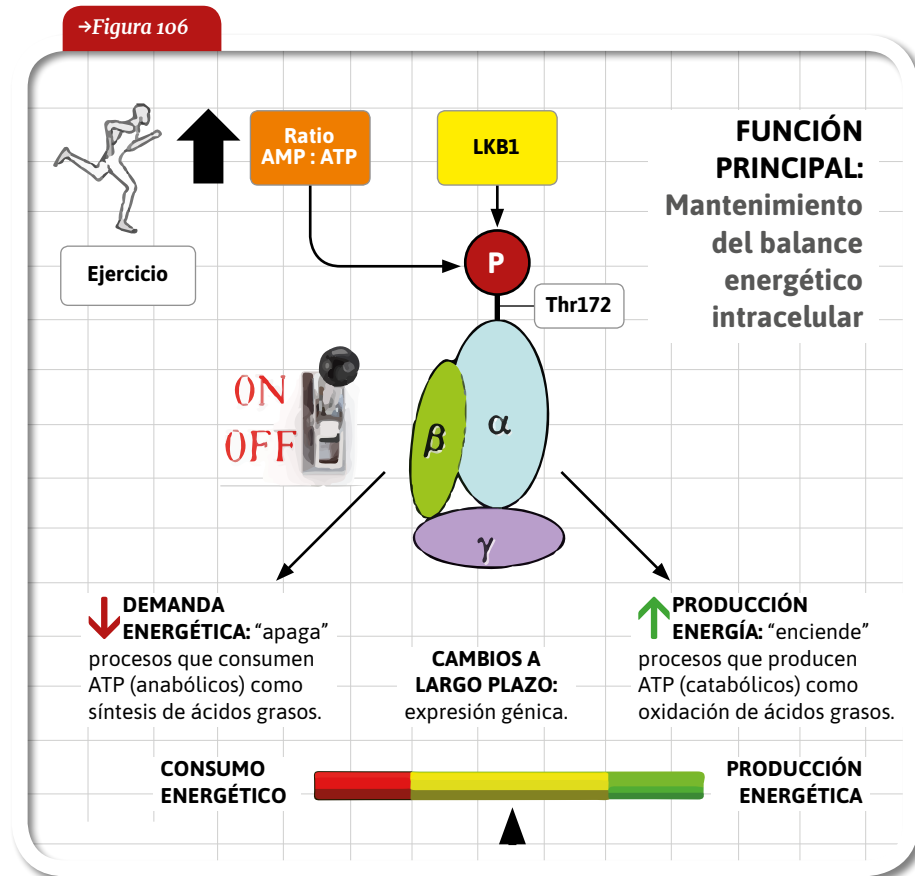
“HIPÓTESIS DE TRANSDUCCIÓN DE SEÑALES EN RESPUESTA AL EJERCICIO”

Proteínas sensoras específicas detectan señales relacionadas con el ejercicio que son procesadas por redes o vías de transducción, regulando eventos finales de esas cascadas de señalización.

«Los incrementos en AMP y ADP son moderados durante el ejercicio de baja intensidad y larga duración, y en el caso del ejercicio tipo HIIT son grandes y se mantienen durante un periodo de tiempo corto»

AMPK

Tanto el ADP, el AMP, como el glucógeno son detectados por la proteína sensora AMPK (proteína quinasa activada por AMP). La AMPK es una de las quinasas más importantes en el cuerpo humano, especialmente en relación con el ejercicio. Recibió su nombre en el año 1987 cuando se la describió como una enzima que se activa por AMP y que regula la actividad de las enzimas reguladoras de la oxidación de ácidos grasos y de la biosíntesis del colesterol (Carling, 1987). Cuando los niveles del ratio intrafibrilar de ATP:AMP varían, la AMPK los detecta de una manera muy sensible respondiendo rápidamente con un gran cambio de su actividad. Es por esto, que se considera a la AMPK como un sensor del estado energético de la célula. La principal función de la AMPK es el mantenimiento del balance energético intracelular, es decir, el mantenimiento del equilibrio entre el consumo y producción de energía (Figura 106). Para lograr ese objetivo la AMPK actúa a dos niveles:



1| A corto plazo mediante la modificación de la actividad de diversas vías de señalización: actúa apagando los procesos anabólicos que consumen energía (p.ej biosíntesis de ácidos grasos y proteínas) y encendiendo los procesos catabólicos que producen ATP como es la oxidación de ácidos grasos y la glucólisis.

2| A largo plazo la AMPK actúa modulando la actividad de determinados factores de transcripción para modular la expresión de diferentes genes con el objetivo de mantener el balance energético intracelular estable.

El aumento en ADP y AMP durante el ejercicio lleva a un incremento en la fosforilación de AMPK en su residuo de treonina 172 (Thr172), que conduce al aumento de su actividad y a la activación de su vía de señalización. El HIIT es un modelo de ejercicio conocido por su elevada intensidad de esfuerzo, y numerosos estudios han demostrado que la intensidad de la respuesta de AMPK es proporcional al aumento de ADP y AMP y por tanto a la intensidad y duración del ejercicio, siendo el mínimo de intensidad para observar activación de AMPK el 50% del VO₂máx, o realizar el ejercicio a intensidades inferiores pero hasta el agotamiento (Gibala, 2012). Además, estos estudios han sentado las bases para comprender los mecanismos moleculares que pueden regular las recuperaciones aeróbicas tras esfuerzos anaeróbicos y las adaptaciones al entrenamiento interválico de alta intensidad:

Cuando practicamos HIIT, se produce un rápido aumento del ratio AMP:ATP, y como consecuencia aumenta la actividad de AMPK. Uno de los primeros efectos de la activación de la AMPK es que induce la fosforilación de la Acetil coenzima A carboxilasa (ACC), lo que inhibe su actividad, y eso produce en consecuencia un descenso de los niveles intramusculares de Malonil-CoA. El Malonil-CoA normalmente actúa impidiendo la actividad de una enzima denominada carnitina palmitoil transferasa (CPT), que introduce ácidos grasos para su oxidación en la mitocondria. Más a largo plazo, la AMPK modula la expresión de genes implicados en la oxidación de ácidos grasos como es el PPARα (Figura 107).

«La intensidad de la respuesta de AMPK es proporcional al aumento de ADP y AMP y por tanto a la intensidad y duración del ejercicio, siendo el mínimo de intensidad para observar activación de AMPK el 50% del VO₂máx, o realizar el ejercicio a intensidades inferiores pero hasta el agotamiento»

POTENCIAL MECANISMO DE SEÑALIZACIÓN INTRACELULAR INVOLUCRADO EN LA BIOGÉNESIS MITOCONDRIAL EN RESPUESTA AL ENTRENAMIENTO HIIT

Se ha demostrado que el HIIT incrementa de forma aguda la concentración intracelular de Ca^{2+} , ADP, AMP y disminuye la de glucógeno en los músculos en contracción. Las concentraciones elevadas de ADP y AMP producen la fosforilación de AMPK en su Thr^{172} y la concentración elevada de Ca^{2+} causa la autofosforilación de CaMK. En consecuencia, AMPK y CaMK regulan factores de transcripción (FT, proteínas que se unen a secuencias específicas del ADN, controlando así la transcripción de la información genética de ADN a ARN mensajero) que en esta vía de señalización conllevan la expresión génica de PGC-1 α , otro factor de transcripción. La función de la PGC-1 α activada es abrir la cromatina en el núcleo celular y aumentar la expresión de proteínas mitocondriales (PM), así como factores de transcripción y replicación mitocondriales (mTF) codificados en el ADN nuclear. Una vez expresados, los mTF migran a la mitocondria, se unen a al ADN mitocondrial (ADNmt) y conducen a la expresión de proteínas codificadas en el ADNmt (Pmt) así como la replicación del ADNmt. Finalmente PM y Pmt forman complejos maduros y se produce la división mitocondrial, resultando en mitocondrias nuevamente formadas (Figura 108).

«El HIIT incrementa de forma aguda la concentración intracelular de Ca^{2+} , ADP, AMP y disminuye la de glucógeno en los músculos en contracción»

VARIABLES DE ENTRENAMIENTO HIIT Y BIOGÉNESIS MITOCONDRIAL

Históricamente, uno de los principales objetivos de la fisiología del ejercicio ha sido descubrir los mecanismos subyacentes a las adaptaciones al entrenamiento. En este sentido, las mejoras en el metabolismo de la energía aeróbica están relacionadas con adaptaciones periféricas, incluyendo un mayor contenido mitocondrial del músculo esquelético y una

mayor densidad capilar (Holloszy, 1984). Estas dos variables generalmente responden a cambios en el volumen de ejercicio, que es producto de la intensidad del ejercicio (trabajo por unidad de tiempo), duración del ejercicio (tiempo por sesión) y frecuencia de entrenamiento (sesiones por semana). Por tanto, haremos aquí hincapié en la remodelación del músculo esquelético con un enfoque en la regulación de la biogénesis mitocondrial.

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS RESPUESTAS MITOCONDRIALES

Las mitocondrias tienen la capacidad de responder rápidamente al entrenamiento, lo cual permite observar adaptaciones de estos organelos en estudios de duración relativamente corta. Al igual que ocurre con el ejercicio continuo de intensidad moderada y larga duración, una sola sesión de HIIT o SIT activa las vías de señalización relacionadas con la biogénesis mitocondrial, como la fosforilación de AMPK o CaMKII y la expresión del ARN de PGC-1 α (Little, 2011; Guerra, 2010). La activación regular y repetida de estas vías mediante el entrenamiento estructurado conduce finalmente a aumentos en la densidad mitocondrial (Coffey, 2007). Numerosos estudios han demostrado que el contenido mitocondrial (medido mediante la actividad citrato sintasa, una enzima de la matriz mitocondrial que cataliza la primera reacción del ciclo de Krebs), aumenta alrededor de un 25-35% tras 6-7 sesiones de HIIT (MacInnis, 2017). Cabe destacar, que cuando la intensidad y la duración del ejercicio se mantienen constantes, el contenido mitocondrial deja de aumentar tras ~5 días de entrenamiento⁴; Sin embargo, cuando la intensidad se incrementa progresivamente, el contenido mitocondrial sigue aumentando durante al menos varias semanas (Henriksson, 1976).

ROL DE LA INTENSIDAD DE EJERCICIO

Durante años se ha sugerido que el determinante principal para el aumento en la cantidad de mitocondrias en respuesta al ejercicio es el volumen de entrenamiento. Sin embargo, esta afirmación se basa en estudios que correlacionan la actividad de la citrato sintasa antes y después de programas de entrenamiento de diferentes duraciones, en vez de comparar entrenamientos tipo HIIT con continuos de moderada intensidad (MICT) ajustados a la misma cantidad de trabajo total, e incluso entrenamientos tipo SIT de bajo volumen con MICT. Si nos centramos en el rol de la

intensidad de ejercicio, varios estudios ajustados por cantidad total de trabajo realizados en los últimos años muestran que las adaptaciones mitocondriales (cantidad y función) al HIIT a corto plazo son mayores que cuando se entrena MICT (*MacInnis, 2017*). Cabe destacar, que el entrenamiento realizado con un pequeño volumen de ejercicio pero a una intensidad muy alta, como por ejemplo el SIT, también produce adaptaciones musculares similares al MICT, al menos a corto plazo (entre 2 y 12 semanas) (*Gillen, 2016; Scribbans, 2014*). Sin embargo, queda por determinar si el HIT y el SIT producen las mismas adaptaciones a medio y largo plazo que el entrenamiento de moderada intensidad y larga duración.

ROL DE LA DURACIÓN Y FRECUENCIA DE EJERCICIO

Los estudios de ejercicio aeróbico realizados en animales (principalmente roedores), demuestran que cuando se incrementa el volumen de ejercicio a través de un aumento en la duración o frecuencia del mismo, existe un aumento paralelo en las adaptaciones mitocondriales (*Dudley, 1982*). En humanos, el efecto de la duración del ejercicio parece depender también de la intensidad del mismo. En este sentido, cuando se entrena a intensidades altas (>80% VO₂máx) las sesiones de mayor duración producen mayores adaptaciones en el contenido mitocondrial (*Green, 2013*), no observándose diferencias significativas dependientes de la duración a intensidades de ejercicio menores (~70% VO₂max). Si tenemos en cuenta la frecuencia de entrenamiento, las evidencias científicas son escasas, al menos en cuanto al entrenamiento HIIT se refiere. Los datos disponibles demuestran que entrenar más veces al día (dos en comparación con una), produce mayores adaptaciones en la actividad de la citrato sintasa (*Costill, 1991*). De forma similar, aumentar el volumen de entrenamiento incrementando la duración y la frecuencia mientras se mantiene la intensidad, parece tener efectos superiores en el contenido mitocondrial (*Granata, 2016*).

ROL DEL PATRÓN DE RECLUTAMIENTO MUSCULAR Y TIPO DE FIBRAS

Las adaptaciones mitocondriales ocurren de forma específica en cada tipo de fibras en estudios realizados en animales (*Dudley, 1982*). En concreto, los músculos con una proporción mayor de fibras tipo I o lentas (por ejemplo, el músculo cuádriceps rojo de roedores), muestran una ganancia

progresiva de contenido mitocondrial paralelamente al entrenamiento de intensidad progresiva. Sin embargo, el músculo cuádriceps blanco (mayor cantidad de fibras tipo II o rápidas), sólo responde mejorando la cantidad de mitocondrias en respuesta a intensidades de entrenamiento relativamente altas (*Taylor, 2005*).

En humanos, normalmente se estudian las adaptaciones al entrenamiento a nivel del músculo completo, sin tener en cuenta los tipos de fibras, además de ser metodológicamente más complicado realizar este tipo de estudios. Por otro lado, se conoce que el reclutamiento del músculo esquelético ocurre en proporción a la intensidad de ejercicio (*Vollestad, 1985*), implicando que mayores intensidades de ejercicio podrían resultar en mayores respuestas en las fibras tipo II en relación a menores intensidades de ejercicio. Las comparaciones existentes entre entrenamientos HIIT y MICT parcialmente corroboran esta teoría, puesto que la activación de las fibras tipo II y la actividad AMPK es mayor tras una sesión de HIIT en comparación con una de MICT ajustadas a la misma cantidad de trabajo total (*Kristensen, 2015*), y la actividad mitocondrial es mayor en las fibras tipo II en respuesta al entrenamiento HIIT de varias semanas (*Henriksson, 1977*).

«Distintos estudios, ajustados por cantidad total de trabajo, realizados en los últimos años muestran que, **las adaptaciones mitocondriales (cantidad y función) al HIIT a corto plazo son mayores que cuando se entrena a moderada intensidad**»

Bibliografía

Angadi SS, Mookadam F, Lee CD, Tucker WJ, Haykowsky MJ, Gaesser GA. High-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous exercise training in heart failure with preserved ejection fraction: a pilot study. *J Appl Physiol* (1985). 2015 Sep 15;119(6):753-8

Bangsbo J, Iaia FM, Krstrup P. The Yo-Yo intermittent recovery test : a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Med*. 2008;38(1):37-51.

Bellenger CR, Fuller JT, Nelson MJ, Hartland M, Buckley JD, DeBenedictis TA. Predicting maximal aerobic speed through set distance time-trials. *Eur J Appl Physiol*. 2015 Dec;115(12):2593-8

Berthon P, Fellmann N, Bedu M, Beaune B, Dabonneville M, Coudert J, Chamoux A. A 5-min running field test as a measurement of maximal aerobic velocity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1997;75(3):233-8.

Billat VL, Hill DW, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Effect of protocol on determination of velocity at VO_2 max and on its time to exhaustion. *Arch Physiol Biochem*. 1996;104(3):313-21.

Billat LV, Koralsztein JP. Significance of the velocity at VO_2 max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med*. 1996 Aug;22(2):90-108.

Boutcher SH. High-intensity intermittent exercise and fat loss. *J Obes*. 2011; 2011:868305.

Buchheit M. The 30-15 intermittent fitness test: accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players. *J Strength Cond Res*. 2008 Mar;22(2):365-74.

Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med*. 2013 May;43(5):313-38.

Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Med*. 2013 Oct;43(10):927-54.

Carroll TJ, Taylor JL, Gandevia SC. Recovery of central and peripheral neuromuscular fatigue after exercise. *J Appl Physiol* (1985). 2017 May 1;122(5):1068-1076

Cazorla G, Léger L. Comment évaluer et développer vos capacités aérobies. Épreuve de course navette et épreuve Vam-Éval. Bordeaux: AREAPS, 1993:1-23

Cochran AJ, Myslik F, MacInnis MJ, Percival ME, Bishop D, Tarnopolsky MA, Gibala MJ. Manipulating Carbohydrate Availability Between Twice-Daily Sessions of High-Intensity Interval Training Over 2 Weeks Improves Time-Trial Performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2015 Oct;25(5):463-70.

Coyle EF, González-Alonso J. Cardiovascular drift during prolonged exercise: new perspectives. *Exerc Sport Sci Rev*. 2001 Apr;29(2):88-92.

Davies CT, Di Prampero PE, Cerretelli P. Kinetics of cardiac output and respiratory gas exchange during exercise and recovery. *J Appl Physiol*. 1972 May;32(5):618-25.

Demarie S, Koralsztein JP, Billat V. Time limit and time at VO_2 max during a continuous and an intermittent run. *J Sports Med Phys Fitness*. 2000 Jun;40(2):96-102.

Elliott AD, Rajopadhyaya K, Bentley DJ, Beltrame JF, Aromataris EC. Interval training versus continuous exercise in patients with coronary artery disease: a meta-analysis. *Heart Lung Circ*. 2015 Feb;24(2):149-57.

Franchini E, Takito MY, Dal'Molin Kiss MA. Performance and energy systems contribution during upper-body sprint Interval Exercise. *J Exerc Rehabil*. 2016 Dec 31;12(6):535-541.

Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, Nieman DC, Swain DP; American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing Exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2011 Jul;43(7):1334-59.

Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, Hawley JA.

Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol*. 2012 Mar 1;590(5):1077-84.

Greenhaff PL, Hultman E, Harris RC. (1993) Carbohydrate metabolism. En: Poortmans JR (ed): Principles of Exercise Biochemistry, 2^oed. Vol 38 pp 89-136. Med Sport Sci. Basel, Karger Greer BK, Sirithienthad P, Moffatt RJ, Marcello RT, Panton LB. EPOC Comparison Between Isocaloric Bouts of Steady-State Aerobic, Intermittent Aerobic, and Resistance Training. *Res Q Exerc Sport*. 2015 Jun;86 (2):190-5.

Gulati M, Pandey DK, Arnsdorf MF, Lauderdale DS, Thisted RA, Wicklund RH, Al-Hani AJ, Black HR. Exercise capacity and the risk of death in women: the St James Women Take Heart Project. *Circulation*. 2003 Sep 30;108(13):1554-9.

Hill DW, Halcomb JN, Stevens EC. Oxygen uptake kinetics during severe intensity running and cycling. *Eur J Appl Physiol*. 2003 Aug;89(6):612-8.

Hulston CJ, Venables MC, Mann CH, Martin C, Philp A, Baar K, Jeukendrup AE. Training with low muscle glycogen enhances fat metabolism in well-trained cyclists. *Med Sci Sports Exerc*. 2010 Nov;42(11):2046-55

Impellizzeri FM, Marcora SM, Castagna C, Reilly T, Sassi A, Iaia FM, Rampinini E. Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *Int J Sports Med*. 2006 Jun;27(6):483-92.

Keating SE, Johnson NA, Mielke GI, Coombes JS. A systematic review and meta-analysis of interval training versus moderate-intensity continuous training on body adiposity. *Obes Rev*. 2017 Aug;18(8):943-964.

Laursen PB. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports* 2010; 20 (Suppl. 2): 1-10

Léger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montréal track test. *Can J Appl Sport Sci*. 1980 Jun;5(2):77-84.

Léger LA, Lambert J. A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO_2 max. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1982;49(1):1-12.

Martins C, Aschehoug I, Ludviksen M, Holst J, Finlayson G, Wisloff U, Morgan L, King N, Kulseng B. High-Intensity Interval Training, Appetite, and Reward Value of Food in the Obese. *Med Sci Sports Exerc*. 2017 Sep;49(9):1851-1858

Matsuo T, Saotome K, Seino S, Eto M, Shimojo N, Matsushita A, Iemitsu M, Ohshima H, Tanaka K, Mukai C. Low-volume, high-intensity, aerobic Interval Exercise for sedentary adults. *Eur J Appl Physiol*. 2014 Sep;114(9):1963-72.

Milanović Z, Sporiš G, Weston M. Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO_2 max improvements: A Systematic Review and Meta-

Analysis of Controlled Trials. *Sports Med*. 2015 Oct;45(10):1469-81.

Millet GP, Candau R, Fattori P, Bignet F, Varray A. VO_2 responses to different intermittent runs at velocity associated with VO_2 max. *Can J Appl Physiol*. 2003 Jun;28(3):410-23.

Mitchell JH, Kaufman MP, Iwamoto GA. The exercise pressor reflex: its cardiovascular effects, afferent mechanisms, and central pathways. *Annu Rev Physiol*. 1983;45:229-42

Mueller SM, Aguayo D, Zuercher M, Fleischmann O, Boutellier U, Auer M, Jung HH, Toigo M. High-intensity interval training with vibration as rest intervals attenuates fiber atrophy and prevents decreases in anaerobic performance. *PLoS One*. 2015 Feb 13;10(2):e0116764.

Pattyn N, Coeckelberghs E, Buys R, Cornelissen VA, Vanhees L. Aerobic interval training vs. moderate continuous training in coronary artery disease patients: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 2014 May;44(5):687-700

Percival ME, Martin BJ, Gillen JB, Skelly LE, MacInnis MJ, Green AE, Tarnopolsky MA, Gibala MJ. Sodium bicarbonate ingestion augments the increase in PGC-1 α mRNA expression during recovery from intense interval exercise in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* (1985). 2015 Dec 1;119(11):1303-12.

Sari-Sarraf V, Aliasgarzadeh A, Naderali MM, Esmaeili H, Naderali EK. A combined continuous

and interval aerobic training improves metabolic syndrome risk factors in men. *Int J Gen Med*. 2015 May 21;8:203-10

Schaun GZ, Alberton CL, Ribeiro DO, Pinto SS. Acute effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training sessions on cardiorespiratory parameters in healthy young men. *Eur J Appl Physiol*. 2017 Jul;117(7):1437-1444

Seiler S, Hetlelid KJ. The impact of rest duration on work intensity and RPE during interval training. *Med Sci Sports Exerc*. 2005 Sep;37(9):1601-7. Seiler S, Sjursen JE. Effect of work duration on physiological and rating scale of perceived exertion responses during self-paced interval training. *Scand J Med Sci Sports*. 2004 Oct;14(5):318-25.

Sloth M, Sloth D, Overgaard K, Dalgas U. Effects of sprint interval training on VO_2 max and aerobic exercise performance: A systematic review and metaanalysis. *Scand J Med Sci Sports*. 2013 Dec;23(6):e341-52.

Tardieu-Berger M1, Thevenet D, Zouhal H, Prioux J. Effects of active recovery between series on performance during and intermittent exercise modelin young endurance athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2004 Oct;93(1-2):145-52.

Tschakert G, Hofmann P. High-intensity intermittent exercise: methodological and physiological aspects. *Int J Sports Physiol Perform*. 2013 Nov;8(6):600-10.

Tschakert G, Kroepfl J, Mueller A, Moser O, Groeschl W, Hofmann P. How to regulate the acute physiological response to "aerobic" high-intensity Interval Exercise. *J Sports Sci Med*. 2015 Mar 1;14(1):29-36.

Tucker WJ, Sawyer BJ, Jarrett CL, Bhammar DM, Gaesser GA. Physiological responses to high-intensity Interval Exercise differing in Interval duration. *Strength Cond Res*. 2015 Dec;29(12):3326-35.

Vicente-Campos D, Martín López A, Nuñez MJ, López Chicharro J. Heart rate recovery normality data recorded in response to a maximal exercise test in physically active men. *Eur J Appl Physiol*. 2014 Jun;114(6):1123-8.

Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Whipp BJ. Principles of Exercise Testing and Interpretation. *Ed. Lippincott Williams & Wilkins* 2005

Westerblad H, Allen DG, Lännergren J. Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? *News Physiol Sci*. 2002 Feb;17:17-21.

Weston KS, Wisloff U, Coombes JS. High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2014 Aug;48(16):1227-34.

Wewege M, van den Berg R, Ward RE, Keech A. The effects of high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on body

composition in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis. *Obes Rev.* 2017 Jun;18(6):635-646.

Wisløff U, Støylen A, Loennechen JP, Bruvold M, Rognum Ø, Haram PM, Tjønnå AE, Helgerud J, Slørdahl SA, Lee SJ, Videm V, Bye A, Smith GL, Najjar SM, Ellingsen Ø, Skjaerpe T. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation.* 2007 Jun 19;115(24):3086-94.

Zhang H, Tong TK, Qiu W, Zhang X, Zhou S, Liu Y, He Y. Comparable effects of Highintensity Interval training and prolonged continuous Exercise training on abdominal visceral fat reduction in obese Young women. *J Diabetes Res.* 2017;2017:5071740.

Bibliografía página 161 a 164:

Cunanan, A. J., DeWeese, B. H., Wagle, J. P., Carroll, K. M., Sausaman, R., Hornsby III, W. G., Haff, G. G., Triplett, N. T., Pierce, K. C. & Stone, M. H. (2018). The general adaptation syndrome: a foundation for the concept of periodization. *Sports Medicine*, <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0855-3>.

Gabbett, T. J. (2016). The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, doi: 10.1136/bjsports-2015-095788

Ingham, S. A., Whyte, G. P., Pedlar, C., Bailey, D. M., Dunman, N. & Nevill, A. M. Determinants of

800-m and 1500-m running performance using allometric models. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40: 345-350.

Kenneally, M., Casado, A. & Santos-Concejero, J. (2017). The effect of Periodisation and training intensity distribution on long and middle-distance running performance: a systematic review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, doi: <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0327>.

Konings, M. J., Scoenmakers, P. J. M., Walker, A. J. & Hettinga, F. J. (2016). The behavior of an opponent alters pacing decisions in 4-km cycling time trials. *Physiology & Behavior*, 158:1-5.

Lydiard, A. (2013). *Running to the top*. Meyer & Meyer Sport: Auckland.

Martin, D. E. & Coe, P. N. (1993). *Entrenamiento para corredores de fondo y medio fondo*. Barcelona: Paidotribo.

Matveyev, L. (1981). *Fundamentals of sports training*. Moscow: Progress Publishers.

Selye, H. (1950). The general-adaptation-syndrome. *Annu Rev Med.*, 2(1):327-42.

Snell, P. y Gilmour, G. (1965). *No bugles, no drums*. Minerva editions: Auckland.

Tønnessen, E., Sylta, O., Haugen, T. A., Hem, E., Svendsen, I. S. & Seiler, S. (2014). The road to gold: training and peaking characteristics in the year prior to a gold medal endurance

performance. *PLoS One.*, 9(7):e101796.

Bibliografía página 175 a 185:

Carling D, Zammit VA, Hardie DG. A common bicyclic protein kinase cascade inactivates the regulatory enzymes of fatty acid and cholesterol biosynthesis. *FEBS letters* 1987; 223(2): 217-22.

Coffey VG, Hawley JA. The molecular bases of training adaptation. *Sports medicine* 2007; 37(9): 737-63.

Costill DL, Thomas R, Robergs RA, Pascoe D, Lambert C, Barr S et al. Adaptations to swimming training: influence of training volume. *Medicine and science in sports and exercise* 1991; 23(3): 371-7.

Dudley GA, Abraham WM, Terjung RL. Influence of exercise intensity and duration on biochemical adaptations in skeletal muscle. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology* 1982; 53(4): 844-50.

Egan B, Zierath JR. Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. *Cell metabolism* 2013; 17(2): 162-84.

Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal of physiology* 2012; 590(5): 1077-84.

Gillen JB, Martin BJ, MacInnis MJ, Skelly LE, Tarnopolsky MA, Gibala MJ. Twelve Weeks of Sprint Interval Training Improves Indices of Cardiometabolic Health Similar to Traditional

Endurance Training despite a Five-Fold Lower Exercise Volume and Time Commitment. *PloS one* 2016; 11(4): e0154075.

Granata C, Oliveira RS, Little JP, Renner K, Bishop DJ. Mitochondrial adaptations to high-volume exercise training are rapidly reversed after a reduction in training volume in human skeletal muscle. *FASEB journal : official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology* 2016; 30(10): 3413-3423.

Green HJ, Burnett M, Carter S, Jacobs I, Ranney D, Smith I et al. Role of exercise duration on metabolic adaptations in working muscle to short-term moderate-to-heavy aerobic-based cycle training. *European journal of applied physiology* 2013; 113(8): 1965-78.

Guerra B, Guadalupe-Grau A, Fuentes T, Ponce-Gonzalez JG, Morales-Alamo D, Olmedillas H et al. SIRT1, AMP-activated protein kinase phosphorylation and downstream kinases in response to a single bout of sprint exercise: influence of glucose ingestion. *European journal of applied physiology* 2010; 109(4): 731-43.

Henriksson J, Reitman JS. Quantitative measures of enzyme activities in type I and type II muscle fibres of man after training. *Acta physiologica Scandinavica* 1976; 97(3): 392-7.

Henriksson J, Reitman JS. Time course of changes in human skeletal muscle succinate dehydrogenase and cytochrome oxidase activities and maximal oxygen uptake with

physical activity and inactivity. *Acta physiologica Scandinavica* 1977; 99(1): 91-7.

Holloszy JO, Coyle EF. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of applied physiology* 1984; 56(4): 831-8.

Kristensen DE, Albers PH, Prats C, Baba O, Birk JB, Wojtaszewski JF. Human muscle fibre type-specific regulation of AMPK and downstream targets by exercise. *The Journal of physiology* 2015; 593(8): 2053-69.

Little JP, Safdar A, Bishop D, Tarnopolsky MA, Gibala MJ. An acute bout of high-intensity interval training increases the nuclear abundance of PGC-1alpha and activates mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology* 2011; 300(6): R1303-10.

MacInnis MJ, Gibala MJ. Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *The Journal of physiology* 2017; 595(9): 2915-2930.

MacInnis MJ, Zacharewicz E, Martin BJ, Haikalas ME, Skelly LE, Tarnopolsky MA et al. Superior mitochondrial adaptations in human skeletal muscle after interval compared to continuous single-leg cycling matched for total work. *The Journal of physiology* 2017; 595(9): 2955-2968.

Morales-Alamo D, Ponce-Gonzalez JG, Guadalupe-Grau A, Rodriguez-Garcia L, Santana

A, Cusso R et al. Critical role for free radicals on sprint exercise-induced CaMKII and AMPKalpha phosphorylation in human skeletal muscle. *Journal of applied physiology* 2013; 114(5): 566-77.

Rose AJ, Frosig C, Kiens B, Wojtaszewski JF, Richter EA. Effect of endurance exercise training on Ca²⁺ calmodulin-dependent protein kinase II expression and signalling in skeletal muscle of humans. *The Journal of physiology* 2007; 583(Pt 2): 785-95.

Scribbans TD, Edgett BA, Vorobej K, Mitchell AS, Joannis SD, Matusiak JB et al. Fibre-specific responses to endurance and low volume high intensity interval training: striking similarities in acute and chronic adaptation. *PLoS one* 2014; 9(6): e98119.

Taylor EB, Lamb JD, Hurst RW, Chesser DG, Ellingson WJ, Greenwood LJ et al. Endurance training increases skeletal muscle LKB1 and PGC-1alpha protein abundance: effects of time and intensity. *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism* 2005; 289(6): E960-8.

Vollestad NK, Blom PC. Effect of varying exercise intensity on glycogen depletion in human muscle fibres. *Acta physiologica Scandinavica* 1985; 125(3): 395-405.

Wu H, Kanatous SB, Thurmond FA, Gallardo T, Isotani E, Bassel-Duby R et al. Regulation of mitochondrial biogenesis in skeletal muscle by CaMK. *Science* 2002; 296(5566): 349-52.

HIIT

ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO
DE ALTA INTENSIDAD

El HIIT (Entrenamiento interválico de alta intensidad) en su vertiente aeróbica, que es como se aborda en este libro, constituye una modalidad de entrenamiento deportivo clásica que se ha popularizado en los últimos pocos años en los deportistas aficionados, en el área del fitness y en la clínica.

En este libro hemos tratado de mostrar las bases fisiológicas de esta modalidad de entrenamiento considerando los aspectos más genuinos del HIIT, abordando los aspectos metodológicos que permiten su diseño, así como las respuestas y adaptaciones más relevantes que se asocian a esta modalidad de entrenamiento.

No hemos querido excluir la aplicación de HIIT en el ámbito clínico, teniendo en cuenta que ha sido en el área que más se ha desarrollado recientemente. Asimismo, dedicamos un capítulo a la biología molecular más relevante asociada al HIIT. Finalmente, y como muestra práctica de su aplicación, un atleta de elite nos muestra sus propios entrenamientos.

Recogemos igualmente resúmenes de los artículos científicos más relevantes publicados en los últimos años.



EXERCISE PHYSIOLOGY & TRAINING
FISIOLOGÍA DEL EJERCICIO