



NIRS

LA NUEVA TECNOLOGÍA PARA CONTROLAR EL ENTRENAMIENTO

Cada cierto tiempo y con el avance de la tecnología, aparece un sistema revolucionario que marca una nueva época en la programación del entrenamiento y mejoras del rendimiento. A finales de los 70 apareció el pulsómetro, gracias a la marca Polar, que en los años 80-90 se popularizó haciendo que casi todos los deportistas lo utilizaran para controlar sus entrenamientos. El control de vatios en bicicleta se desarrolló en los años 80 con la empresa SRM, siendo al inicio un accesorio muy caro y solo utilizado por ciclistas profesionales, aunque la competencia y descenso de precios ha provocado que en esta última década sea un método muy utilizado. Los relojes GPS deportivos aparecen un poco más tarde, en 2003, de la mano de Garmin, y pronto empiezan a ser una herramienta imprescindible para los corredores de hoy en día. En este artículo conoceremos una nueva herramienta que posiblemente marcará una nueva era en el control del entrenamiento.

Iván Rodríguez Hernández Ido. en CC. de la Actividad Física y del Deporte. Responsable de Reebok Rendimiento. Preparador Físico del equipo ciclista Caja Rural élite y sub-23
Cristina Loring de Anta Ida. en CC. de la Actividad Física y del Deporte. Responsable de Reebok Rendimiento y Experta en hipoxia

S in oxígeno no hay vida

El oxígeno tiene una función fundamental en la vida, a pesar de que existen algunos organismos que sobreviven sin él. Sin este gas hubiese sido imposible la aparición de formas de vida complejas. Las células necesitan energía continua para su desarrollo y mantenimiento, esta energía se obtiene en las mitocondrias mediante la combinación de oxígeno y diversos nutrientes (derivados de glucosa, ácidos grasos o aminoácidos).

Si nos centramos en el ejercicio físico, el oxígeno tiene una importancia enorme y precisamente uno de los principales indicadores de rendimiento de un deportista de resistencia es la capacidad de consumo máximo de oxígeno ($\text{VO}_2\text{máx}$). Curiosamente los deportistas muy entrenados suelen tener aproximadamente el doble de $\text{VO}_2\text{máx}$ que personas sedentarias y dos veces más mitocondrias que una persona sedentaria (Puntschart, 1995).

Cuando hablamos de deportes de resistencia solemos pensar en corazones con grandes cavidades para impulsar mayor cantidad de sangre (oxígeno y nutrientes) a nuestros músculos o una gran capacidad pulmonar para reoxigenar la sangre. Sin embargo, no somos conscientes que ese corazón y esos pulmones se desarrollan debido a una demanda que exigen los músculos. Si el músculo se queda sin oxígeno no hay contracción muscular, no hay movimiento y no podremos mantener nuestra actividad.

Control de la carga de entrenamiento

Actualmente tenemos dos formas de controlar la intensidad del entrenamiento. La carga interna es el efecto que causa en el organismo un determinado esfuerzo o intensidad, mientras que la carga externa es la cantidad de trabajo realizado.

Carga interna	Carga externa
Frecuencia cardiaca.	Ritmo-velocidad.
Lactato.	Vatios.
Escala de Borg.	Desnivel.
Consumo de oxígeno.	

Esto implica que dos deportistas puedan mantener una misma intensidad externa (correr a 4min/km) pero con diferentes cargas internas (uno con una FC de 175 y una valoración subjetiva de 8 en la escala moderna de Borg, mientras otro de mayor nivel lo puede hacer con una frecuencia cardiaca de solo 155 latidos por minuto y una valoración subjetiva de 4).

Hace años se utilizaba sobre todo la carga interna, pero cada vez está más en auge la externa gracias a los instrumentos de precisión y su descenso de precios (GPS, potenciómetros, acelerómetros, etc.).

Es un gran debate sobre el que ya se han realizado muchísimos artículos. Por un lado la carga externa representa la realidad y objetividad del esfuerzo, el que corre más rápido o consigue mantener más w/kg es el que gana. Pero por el otro no tenemos información del efecto de ese esfuerzo en el deportista y las consecuencias de cada entrenamiento. Las cargas externas son objetivas y fiables para conocer el trabajo realizado, mientras las internas suelen ser más variables y subjetivas, pero ofrecen más información de lo que ha supuesto el trabajo realizado en el deportista.

pero sus músculos funcionan de manera diferente y éstos se adaptan a cada deporte. Es más sencillo que un ciclista se adapte a correr que viceversa (Millet, 2009). El corredor no podrá escalar un puerto como un ciclista. A pesar de que su corazón trabaje al máximo y la sangre circule llena de oxígeno no será capaz de oxigenar sus músculos lo suficiente para mantener el ritmo. Su limitación no será el sistema cardiovascular sino su capacidad de reclutamiento muscular y de utilización del oxígeno.

Esta nueva posibilidad de valorar la intensidad de manera localizada en ese grupo muscular hace que tengamos una herramienta para entender el funcionamiento muscular y una forma de trabajar que hasta ahora quedaba al azar.

La carga interna es el efecto que causa en el organismo un determinado esfuerzo o intensidad, mientras que la carga externa es la cantidad de trabajo realizado.

Tecnología NIRS

En el año 2006 apareció en el mundo del deporte una nueva tecnología que permitía valorar la carga interna de forma muy objetiva (representación real e inmediata del esfuerzo) sin ser invasiva y además de forma económica. Se trata del NIRS (*Near Infra-Red Spectroscopy*) o lo que es lo mismo capacidad para medir la saturación de oxígeno muscular. Con el control de la saturación de oxígeno muscular podremos comprobar el balance entre el suministro de oxígeno ofrecido por el sistema cardiovascular y la demanda del músculo, siendo un marcador de la capacidad oxidativa del músculo (Perrey y Ferrari, 2018).

Mediante una luz LED emitida al tejido muscular y varios detectores que cuantifican la intensidad de la luz a medida que se propaga por el músculo, podremos conocer este parámetro tan útil de control del rendimiento. Recordad que lo importante no es que el corazón sea capaz de suministrar mucha sangre y oxígeno, sino que ese oxígeno sea utilizado por ese músculo.

Para entenderlo mejor, el corazón de un ciclista o corredor de élite son muy similares,

Manual rápido de utilización NIRS

Si queremos utilizar la tecnología NIRS tenemos pocas opciones, solo un par de marcas están actualmente disponibles para el público: Moxy y Humon. En este caso analizaremos la segunda marca siendo más económica y con más posibilidades de comunicación/sincronización con otros dispositivos (relojes deportivos, apps, etc.) y con validación científica reciente (Farzam, 2018)

La oxigenación muscular funciona de forma inversa a la FC, es decir, a mayor intensidad de ejercicio más FC y menos cantidad de oxígeno disponible. Sin embargo, esta medición es mucho más eficaz e instantánea. Cuando realizamos un *sprint* corto el pulsómetro no tiene ninguna utilidad porque existe un efecto retardo y se retrasa mucho la elevación de FC, además de necesitar más tiempo en volver a los valores basales. Si además tenemos que trabajar con diferentes temperaturas, deriva cardiovascular o acción de suplementos, podemos considerar que esta medida es poco precisa. Pero la saturación de oxígeno nos permite comprobar de forma muy rápida y sencilla lo que hemos exigido a ese músculo (nivel de desaturación de oxígeno) y cuánto

Teoría del entrenamiento

necesita para volver a valores basales indicando que ya está preparado para una nueva serie o *sprint*.

El problema que tenemos con este método y que nos puede confundir en nuestros primeros contactos, es que la saturación de oxígeno en reposo es variable. El primer día que lo utilizamos comprobamos que nuestra saturación en reposo en el vasto externo es de un 75%, pero al día siguiente después de un entrenamiento exigente y en las mismas condiciones de reposo es de un 65%.

También nos damos cuenta que la saturación no es igual a la misma intensidad: un día trabajando una serie de 5min a 300w podemos tener 63% de saturación y otro día con peores sensaciones y mayor dolor de piernas de solo 57%. Si controlamos los vatios con un *software* tendremos aparentemente el mismo entrenamiento con la misma carga acumulada (TSS, factor de intensidad, etc.) pero a nivel fisiológico el mismo entrenamiento externo tiene efectos fisiológicos diferentes. Afortunadamente ya podemos tener el control simultáneo de las dos cargas y las podemos comparar.

Aunque la saturación muscular es variable e individual, sí hay unos valores de referencia que son aproximadamente 80-85% como la saturación más elevada y las más bajas en un esfuerzo máximo de 20-35%.

Utilidades para deportes de resistencia

1. Optimizar el calentamiento

El calentamiento ha sido posiblemente una de las asignaturas pendientes de la investigación deportiva y muchas de las estrategias utilizadas se han basado en gran medida a base de prueba y error. Según un meta análisis (Fradkin, 2010) realizado sobre 92 es-

tudios, en un 79% de ellos se comprueban mejoras del rendimiento al realizarlo, pero no se determina con cierta precisión cuál es el protocolo adecuado.

Según la última revisión realizada (Mc Gowan, 2015) el calentamiento produce cambios en la temperatura, el metabolismo, la potenciación post-activación y una mejora de la cinética de absorción de oxígeno. Gracias

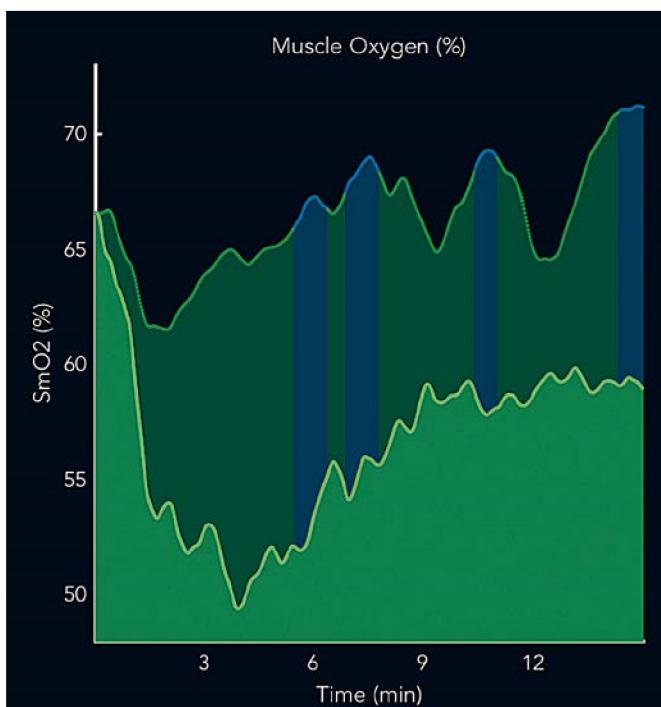


Figura 2.



a la tecnología NIRS podemos controlar el porcentaje de oxígeno muscular y controlar con exactitud cuándo es más elevada optimizando el calentamiento.

La elevación de saturación de oxígeno es el protocolo correcto en un adecuado calentamiento hasta tratar de conseguir una estabilización o meseta, en la que sabremos que estamos al máximo de nuestras posibilidades. Sin embargo, al utilizar este sistema nos damos cuenta que cada deportista necesita un tiempo y una intensidad. Incluso el mismo calentamiento puede tener diferentes efectos en distintos momentos en el mismo deportista (pueden existir importantes cambios por fatiga previa, diferente temperatura ambiental o nivel de oxigenación inicial).

Generalizar puede aproximar un buen calentamiento, pero con el control de la oxigenación muscular podremos individualizar conociendo exactamente el tiempo y la intensidad necesaria para conseguirla.

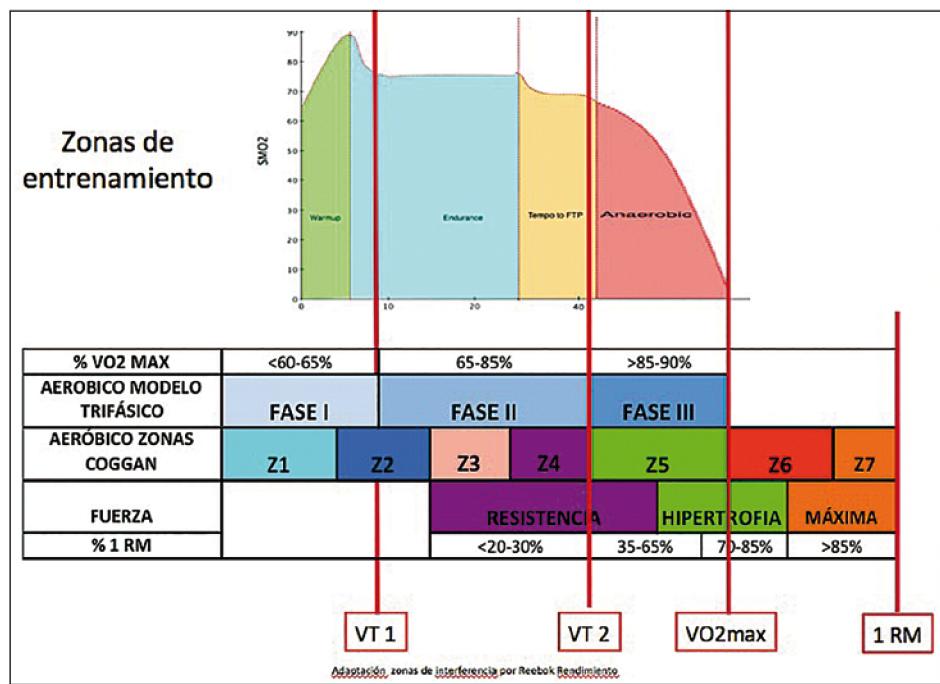
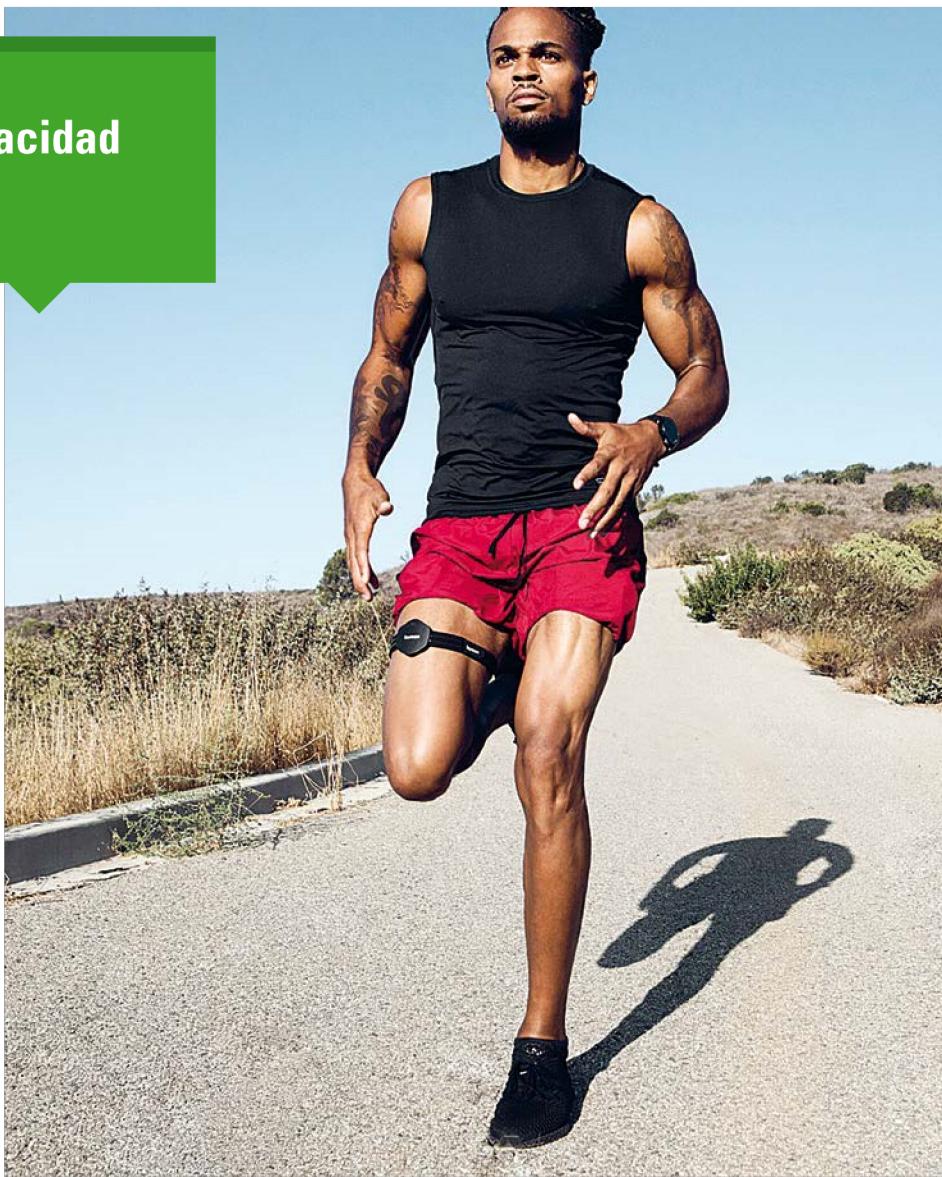


Figura 1.

El NIRS (*Near Infra-Red Spectroscopy*) es la capacidad para medir la saturación de oxígeno muscular.



En la figura 2 observamos dos imágenes: en la de fondo un buen calentamiento progresivo aumentando la saturación de 67% a 72% y alcanzando una meseta, y en la otra la intensidad de inicio es demasiado elevada disminuyendo excesivamente la saturación y necesitando ahora más tiempo para conseguir la máxima posible.

2. Valoración de umbral de lactato y zonas de entrenamiento

Realizando un test pre-establecido en el que se incrementa la intensidad cada 3 minutos, podremos obtener unos resultados muy fiables sobre el umbral de lactato mediante un algoritmo patentado por Humon (Farzam 2018).

Cuando analizamos uno de estos test observamos desde el inicio un incremento de la oxigenación progresivo que coincide con la Fase I del modelo trifásico propuesto por Skinner y McLellan. Una vez alcanzado el punto más elevado de saturación se produce una meseta o ligero descenso progresivo

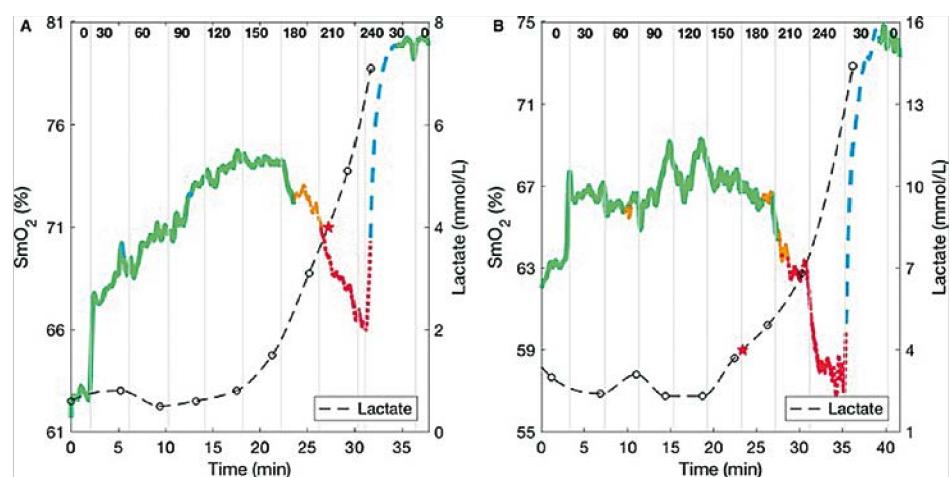


Figura 3. Ejemplos de comparativas de saturación de oxígeno muscular y lactato en un test incremental con escalones de 3min (la elevación exponencial de lactato tiene una alta correlación con el descenso de saturación muscular). Farzam (2018).

Teoría del entrenamiento

vo indicando una mayor demanda de oxígeno que coincide con la Fase II. Por último, encontramos un descenso más brusco, representado en colores naranja y rojo, indicando una enorme demanda de oxígeno y una inminente entrada en zona anaeróbica o Fase III. La recuperación de oxigenación se representa en color azul y hasta que ésta no se estabiliza (color verde) significa que el proceso de homeostasis no ha finalizado.

3. Controlar la intensidad del entrenamiento

La mayoría de los entrenamientos para deportistas de resistencia se prescriben mediante FC (ya hemos visto sus limitaciones en la respuesta inmediata) o carga externa (vatos, velocidad, etc.) que no tiene en cuenta lo que sucede a nivel interno. Pero utilizando la tecnología NIRS podemos controlar el efecto inmediato sobre el organismo.

Todos hemos tenido la mala sensación de no poder cumplir con un entrenamiento que otro día se podría haber realizado sin demasiada dificultad. Conseguir mantener unos determinados vatios o un ritmo puede suponer diferentes efectos cada día, no es lo mismo correr a 4min/km tras dos días de descanso que tras dos días de entrenamiento exigentes. La saturación de oxígeno basal es inferior en fatiga y el mismo tiempo a la misma intensidad supone valores inferiores en la oxigenación y por tanto un mayor estímulo. Lo mismo pasa entre la primera serie y la última, ya que el mismo contenido externo puede suponer diferentes desaturaciones musculares.

Ahora la pregunta es si seguimos utilizando un objetivo de entrenamiento externo o cambiamos radicalmente siendo nuestra prioridad la desaturación. Lamentablemente aún no hay mucha investigación y no sabemos cuál es la mejor opción para mejorar el rendimiento.

Según las últimas investigaciones (Hugues, 2017) el incremento de densidad mitocondrial se puede conseguir por dos caminos: alto volumen de entrenamiento o alta intensidad (HIIT). Sin embargo, las mejoras en la respiración mitocondrial solo pueden desarrollarse en entrenamiento de intervalos de alta intensidad (HIIT) y en intervalo de sprints (SIT). Esos cambios se deben al aumento de densidad en las crestas mitocondriales, haciendo mejorar el rendimiento provocando mayor capacidad de producir energía, sin necesidad de variar la densidad mitocondrial.



Figura 4. Gráfica comparando oxigenación muscular (línea naranja) con vatios (línea roja) y las zonas de entrenamiento según Coggan. A mayor intensidad con más velocidad desciende la saturación y si la intensidad es igual o superior al VT2 o FTP la saturación no se incrementará

Con el control de la saturación de oxígeno muscular podremos comprobar el balance entre el suministro de oxígeno ofrecido por el sistema cardiovascular y la demanda del músculo.

Esta mayor estimulación es provocada por una desoxigenación y en el caso del SIT en mayor cantidad de fibras musculares. Por lo que es probable que realizar un trabajo de desoxigenación pueda suponer una mayor precisión en el ajuste de la intensidad si disponemos de esta herramienta.

Siguiendo esta propuesta tendríamos una forma diferente de prescribir el entrenamiento. Actualmente recomendamos 8 series de 1min a 450w y utilizando la tecnología NIRS podríamos hablar de ocho series de entre 40-60sg bajando la saturación hasta un 50%. Si empezamos con excesiva intensidad bajaremos antes y si somos más moderados necesitaremos más tiempo para conseguirla, pero habremos conseguido el mismo efecto en desoxigenación.

4. Control de recuperación en entrenamiento (recuperación completa o incompleta)

Las recuperaciones entre series son otra de las asignaturas pendientes y al igual que en el calentamiento supone un factor muy variable y que debe individualizarse. Los mejores deportistas tienen una gran capacidad de recuperación y con NIRS podemos controlar perfectamente el nivel de recuperación y la mejor intensidad para realizarlas.

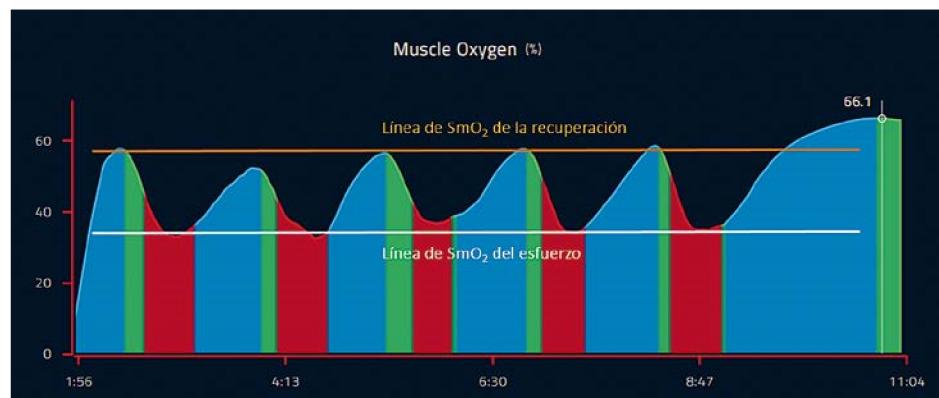


Figura 5.

Incluso la recomendación de un tiempo puede suponer una pérdida de optimización, tanto por exceso como por defecto. Recomendar recuperaciones por saturación hasta llegar al valor inicial y estabilizarlo puede significar un mayor control del estímulo sobre el músculo. Incluso puede suponer una gran ventaja en el entrenamiento interválico de recuperaciones incompletas tipo método Billat (Billat, 2001) ya que el objetivo de este tipo de entrenamiento es mantener un mayor tiempo total acumulado de entrenamiento en deuda de oxígeno. En esta propuesta se comienza con series de varios minutos trabajando 30sg a intensidad de VO₂máx y 30sg de recuperación y reduciendo progresivamente el tiempo de recuperación a medida que aumenta el nivel del deportista.

Ahora gracias a NIRS podríamos diseñar un entrenamiento interválico de recuperación incompleta totalmente personalizado consiguiendo mantener por ejemplo durante 8 minutos una desoxigenación importante sin un exceso de recuperación que podía suponer menos beneficios. Incluso podemos ahorrar tiempo realizando un primer intervalo más largo o intenso para conseguir una desoxigenación adecuada desde el inicio y luego tratar de mantenerla sin tener que ser estrictos con los tiempos de trabajo o de recuperación.

5. Control de la recuperación (post-esfuerzo)

Podemos ver como en nuestro músculo tras un entreno exigente o competición se produce una desoxigenación general que puede mantenerse durante horas y días pudiendo repercutir en los futuros entrenamientos.

RESUMEN

- Nos encontramos con una nueva herramienta que ayudará en el entrenamiento, pero se necesita más investigación para conseguir todo su potencial y sobre todo invertir tiempo a nivel personal y abrir la mente para poder aprovecharlo.
- Puede ser una herramienta perfecta para gestionar la intensidad en deportes anaeróbicos.
- Controlar la desoxigenación y re-oxigenación de ambos miembros a la vez (izquierdo y derecho) puede ofrecer una valiosa información en desequilibrios musculares y lesiones o readaptaciones deportivas.
- Es imprescindible colocar el sistema en la zona muscular que más demanda de oxígeno necesitará. No sirve de mucho colocarlo en el bíceps si queremos medir a un ciclista por ejemplo.
- Es necesario realizar una calibración inicial en reposo para obtener datos fiables y fijar el aparato para evitar movimientos durante el ejercicio. No puede utilizarse en el agua.
- Un tejido adiposo abundante puede ofrecer datos contaminados.

Hay diferentes métodos para aumentar el flujo sanguíneo y facilitar la recuperación, como entrenamientos de baja intensidad, masajes, electroestimulación, presoterapia, etc.

Mediante el control de la oxigenación muscular podemos comprobar qué efecto tie-

ne en nuestra musculatura cada método o combinación de ellos y elegir el que más oxigenación nos ofrezca para favorecer la llegada de nutrientes. Es importante tener un poco de experiencia y conocer nuestros valores basales más elevados para conocer nuestro estado de forma real. ■ ■ ■ ■

BIBLIOGRAFÍA

- PUNTSCHART, A y col. «mRNAs of enzymes involved in energy metabolism and mtDNA are increased in endurance-trained athletes» (1995).
PERREY, S. y FERRARI, M. «Muscle oximetry in sports science: a systematic review» (2018).
MILLET, G.P. y col. «Physiological differences between cycling and running: lessons for triathletes» (2009).
Mc GOWAN, C.J. y col. «Warm-up strategies for sport and exercise: Mechanisms and applications» (2015).
FRADKIN, A.J. y col. «Effects of warming-up on physical performance: a systematic review with metanalysis» (2010).
FARZAM, P. y col. «Validation of a novel wearable, wireless technology to estimate oxygen levels and lactate threshold power in the exercising muscle» (2018).
HUGUES, D. y col. «Adaptations to endurance and strength training» (2017).
BILLAT, V. y col. «Very short (15s-15s) interval-training around the critical velocity allows middle-aged runners to maintain VO₂ max for 14 minutes» (2001).

HIPOXIA INTERMITENTE

ENTRENA SIMULANDO ALTURA



UNA ACCIÓN MIL BENEFICIOS

Reebok
SPORTS CLUB
RENDIMIENTO

+INFO: ivan.rodriguez@reebokclub.com

INSTAGRAM: @rbkreebokrendimiento

TWITTER: @rbkreebokrendimiento