

Cómo citar este artículo:

Lecuona Martínez, D., Corbo Borsani, J. M. & Ramírez Carrasco, C. (2021). Saturación de oxígeno y test de lactato en ciclistas. *MLS Sport Research*, 1(2), 19-32. doi: 10.54716/mlssr.v1i2.673

SATURACIÓN DE OXÍGENO Y TEST DE LACTATO EN CICLISTAS

Daniela Lecuona Martínez

Universidad de la República (Uruguay)

lecuonadaniela@gmail.com · <https://orcid.org/0000-0003-2924-4861>

José Martín Corbo Borsani

Asistencial Médica del Uruguay (Uruguay)

drmartincorbo@gmail.com · <https://orcid.org/0000-0002-6076-3451>

Carlos Ramírez Carrasco

Federación de Ciclismo del Uruguay (Uruguay)

carloscaco24@gmail.com · <https://orcid.org/0000-0003-2747-1446>

Resumen. En este estudio se pretende determinar si el dispositivo Humon Hex empleado para medir la SmO₂, puede usarse en forma equivalente al test de lactato. Estudiando si la potencia del umbral de lactato se puede establecer mediante los cambios de la SmO₂. El objetivo es comparar la concentración de lactato en sangre, y la medida de SmO₂ para predecir la potencia de umbral de lactato durante la ejecución de una prueba de esfuerzo progresivo en ciclistas entrenados. Durante los incrementos de potencia se observa que disminuye el % SmO₂, y la concentración de Lactato aumenta. A través del análisis de correlación de Pearson se evidencia una correlación inversa fuerte entre las variables estudiadas. Se observa que la SmO₂ tanto a nivel basal como en el umbral de lactato, presenta una amplia dispersión de sus valores que limita su utilidad, y no se logra encontrar un valor umbral absoluto estándar para todos los sujetos de la muestra. Al comparar la potencia umbral de lactato estimada por la concentración de lactato en sangre, y el algoritmo del software del Humon Hex da una diferencia promedio de $13w \pm 18,5$, y una diferencia de tiempo promedio de $87' \pm 27,5$. Si bien el n de la muestra es bajo estos datos son prometedores para aplicar el Humon Hex como una herramienta de estimación indirecta del umbral del lactato del entrenamiento diario.

Palabras clave: entrenamiento, intensidad, lactato, umbral de lactato, SmO₂

OXYGEN SATURATION AND LACTATE TEST WITH CYCLISTS

Abstract. This study aims to determine if the Humon Hex device used to measure SmO₂ can be used as an equivalent to the lactate test. Studying whether the potency of the lactate threshold can be established by changes in SmO₂. The objective is to compare the blood lactate concentration and the SmO₂ measurement to predict the lactate threshold power during the performance of a progressive exercise test in trained cyclists. During the power increases, it is observed that the % SmO₂ decreases, and the Lactate concentration increases. Through Pearson's correlation analysis, a strong inverse correlation is evidenced between the variables studied. It is observed that SmO₂, both at the basal level and at the lactate threshold, presents a wide dispersion of its values that limits its

usefulness, and we were unable to find a standard absolute threshold value for all the subjects in the sample. Comparing the threshold lactate power estimated by the lactate concentration in the blood, and the algorithm of the Humon Hex software gives an average difference of $13w \pm 18.5$, and an average time difference of $87'' \pm 27.5$. Although the n of the sample is low, this data is promising to apply the Humon Hex as an indirect estimation tool of the lactate threshold of daily training.

Keywords: training, intensity, lactate, lactate threshold, SmO₂

Introducción

En la planificación del entrenamiento de resistencia se necesita conocer las zonas de entrenamiento, o sea la intensidad de ejercicio en función del objetivo de la sesión. La concentración de lactato sanguíneo es una medida indirecta empleada para control de la intensidad (Brooks, 2020; Rodríguez et al., 2019), es un parámetro de referencia que se usa para poder determinar los niveles de intensidad en la planificación del entrenamiento. La medida de saturación de oxígeno muscular (SmO₂) es un nuevo método que a través de la técnica de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) determina de manera no invasiva los cambios en la oxigenación tisular en atletas que realizan ejercicio incremental (Racinais et al., 2014). Mientras la valoración del test de lactato indica cambios sistémicos y es invasiva, con la saturación muscular de oxígeno obtenemos una valoración continua y no invasiva de lo que ocurre en el músculo frente al esfuerzo.

En el presente estudio se pretende responder si un dispositivo NIRS que mide SmO₂ puede ser usado en forma equivalente al test de lactato en la determinación indirecta de la intensidad. La relevancia del tema está dada en cuanto a que el dispositivo empleado para medir la saturación muscular de oxígeno es portable y no es invasivo en comparación el test de lactato. Con el propósito de dar validez al uso de una herramienta de medida indirecta para estimar el umbral de lactato, y así identificar las zonas de entrenamiento, determinar los niveles de intensidad que sirvan como insumos en la planificación y dosificación de las cargas. El objetivo es comparar la concentración de lactato en sangre, y la medida de SmO₂ para predecir la potencia de umbral de lactato durante la ejecución de una prueba de esfuerzo progresivo en ciclistas entrenados. Durante la ejecución de la prueba se registran el % SmO₂ del vasto externo y la concentración de lactato. Se analiza durante la ejecución de la prueba la relación entre la saturación muscular de oxígeno con la potencia, y la concentración de lactato con la potencia. El sustento teórico del trabajo se aborda en el marco teórico: el capítulo 1 hace referencia: al ciclismo y ciencia en el desarrollo de la ciencia y la tecnología aplicada a la eficiencia del rendimiento deportivo; el capítulo 2: entrenamiento deportivo específicamente orientando al ciclismo, y a la intensidad como una de las variables significativas en cuanto a la organización de los estímulos en función de los objetivos de rendimiento; el capítulo 3: metabolismo, procesos y sustratos; capítulo 4: define al ácido láctico, el lactato, se describe al test de lactato y el umbral de lactato por ser un indicador de zonas de transición aeróbica y anaeróbica; capítulo 5: saturación muscular de oxígenos y espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS), y el dispositivo Humon Hex como la nueva tecnología portable (NIRS) que en este estudio es utilizada para determinar en forma indirecta el umbral de lactato, según los niveles de oxígeno del músculo.

Espectroscopía infrarroja cercano NIRS

La espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) es una tecnología usada en diferentes ámbitos de estudio como la agricultura, cardiología, neurología, y las ciencias del deporte entre otras (Pino Ortega et al., 2019). Las mediciones de la oxigenación por espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) reflejan el suministro y la utilización de O₂ en el ejercicio muscular y pueden mejorar la detección de un umbral de ejercicio crítico (Van Der Zwaard et al., 2016). El NIRS es usado en el deporte para medir la oxigenación muscular durante el ejercicio físico en tiempo real utilizando rayos infrarrojos, emisores de luz o diodos de láser con longitudes de onda en el intervalo de 700-850nm², y detectores NIRS (Ferrari et al., 2011). Se comercializó por primera vez en 1996 (Hitachi Co. Ltd.) básicamente para mostrar la actividad cerebral en neurología (Ferrari & Quaresima, 2012). El oxígeno es transportado por la hemoglobina a través del cuerpo, y varía en función de la intensidad de la actividad física por una disminución del pH y aumento de la temperatura. Las variaciones de SmO₂ durante el transcurso del ejercicio se relacionan con la relación entre la disponibilidad de O₂ en sangre y su uso en los músculos. Con el NIRS se puede estimar la SmO₂, o sea la relación entre la oxi-hemoglobina con respecto a la hemoglobina total en la sangre, expresado en porcentaje.

Ventajas NIRS

Los datos que se obtienen son sobre la cinética de la saturación del oxígeno en músculo, es a través de una técnica no invasiva, mediante emisiones de luz y detectores NIRS, que pueden llegar a una profundidad de 4-5 cms de profundidad. El oxígeno (O₂) es transportado en la sangre por la hemoglobina, y por la mioglobina en el músculo, y durante el ejercicio sus niveles varían, ante un estímulo intenso el oxígeno disminuye. Los cambios de SmO₂ dependen del balance entre el oxígeno disponible en la sangre y su uso por el músculo, el % de SmO₂ es la relación entre la oxi-hemoglobina respecto a la hemoglobina total en sangre. Con NIRS se puede monitorizar los cambios en el tejido muscular de las reservas de O₂ y disponibilidad de O₂ a nivel celular. Es una técnica que considera el hecho de que los tejidos biológicos son transparentes a la luz del infrarrojo, y puede ser utilizada para medir hasta 8 cm de profundidad. Y considerando que la absorción de la luz en el tejido muscular depende del grado de oxigenación, entonces los diferentes niveles de absorción van a indicar el %de SmO₂ durante el ejercicio. Son dispositivos portables, que permiten ser usados durante el entrenamiento con monitorización en tiempo real mediante tecnología inalámbrica. Según la publicación *Monitoreo de los músculos para mejorar el entrenamiento atlético de la oficina de noticias del Massachusetts Institute of Technology* (Winn, 2018), el Humon Hex surge como idea de un proyecto de clase en la Sloan School of Management del Massachusetts Institute of Technology. de dos estudiantes Daniel Wiese estudiante tecnología e innovación, mientras realizaba su doctorado en ingeniería mecánica, y Alessandro Babini una maestría en estudios de administración. Recibieron el apoyo del Martin Trust Center for MIT Entrepreneurship. La espectroscopia de infrarrojo cercano, es la tecnología central detrás del Hex, es un dispositivo liviano que se sujeta al muslo de un usuario, para determinar los niveles de oxígeno en los músculos emitiendo luz en el tejido muscular y midiendo su absorción. Luego, esa información se transmite al teléfono, reloj inteligente o computadora portátil de un usuario a través de la tecnología Bluetooth o ANT + y se muestra en un gráfico simple junto con información personalizada. A medida que los atletas entrenan, el gráfico les muestra si sus músculos consumen oxígeno a un ritmo superior al que se les suministra, lo que les indica si su ritmo actual es sostenible. En otro artículo de Fast Company (Schulte, 2019): Por qué los atletas de la NBA utilizan este dispositivo para mejorar su entrenamiento, se destaca que el éxito del Hex está en que rastrea el rendimiento muscular en tiempo real. Cuando el oxígeno ingresa a la sangre a través de los pulmones, se une a la hemoglobina en las células y se vuelve de color rojo brillante. Después de que el oxígeno es transportado y utilizado por los músculos, la sangre

se vuelve rojo azul oscuro. El Hex interpreta qué tan bien están funcionando los músculos según el color de la sangre. Moxzones es la app para medir el SmO₂, la distancia, el tiempo, el ritmo, la velocidad y mucho más en tiempo real. La app disponible para smartphone y Android, y funciona en conjunto con la plataforma web. El hexágono ilumina el músculo con luz roja e infrarroja, luego cuatro sensores espaciados uniformemente leen la cantidad de luz que pasa a través del músculo y la cantidad que se absorbe. La sangre oxigenada de color rojo brillante absorberá más luz infrarroja y permitirá que la luz roja pase, mientras que la sangre azul-roja, pobre en oxígeno, absorberá más luz roja y permitirá que pase la luz infrarroja. El Hex mide los niveles de oxígeno en el músculo del muslo de un atleta durante el transcurso de un entrenamiento y, utilizando software patentado, genera gráficos de colores que muestran si los músculos del usuario están consumiendo oxígeno a un ritmo sostenible (verde), insostenible (rojo), límite (naranja) o baja (azul).

Lactato

La mayor parte de la evidencia sugiere que el lactato es un intermediario importante en numerosos procesos metabólicos, un combustible particularmente móvil para el metabolismo aeróbico y quizás un mediador del estado redox entre varios compartimentos tanto dentro como entre las células (Brooks, 2020). Tradicionalmente se usa la medición del lactato en el entrenamiento para poder gestionar las diferentes intensidades en la planificación deportiva, la relación entre el lactato y el ejercicio hace más de 200 años que es objeto de estudio. Los cambios en la intensidad y duración del ejercicio afectan sensiblemente la concentración de lactato (San-Millán, 2020). La producción de lactato no es causa de la acidosis, sino que la retrasa, cada vez que el ATP se descompone en ADP y P (i), se libera un protón. Cuando la demanda de ATP de la contracción muscular se satisface mediante la respiración mitocondrial, no hay acumulación de protones en la célula, ya que las mitocondrias utilizan los protones para la fosforilación oxidativa y para mantener el gradiente de protones en el espacio intermembranoso. Solo cuando la intensidad del ejercicio aumenta más allá del estado estable, existe la necesidad de una mayor dependencia de la regeneración de ATP a partir de la glucólisis y el sistema de fosfágeno. El ATP que se suministra a partir de estas fuentes no mitocondriales y que finalmente se utiliza para impulsar la contracción muscular aumenta la liberación de protones y provoca la acidosis del ejercicio intenso. Es con la producción de lactato que se logran los NAD (+) que se necesitan en la fase 2 de la glucólisis. Por tanto, el aumento de la producción de lactato coincide con la acidosis celular y sigue siendo un buen marcador indirecto de las condiciones metabólicas celulares que inducen la acidosis metabólica. El lactato actúa reduciendo la acidez debido a que consume H⁺, cuando se desarrollan intensidades muy altas y se mantienen en el tiempo, la producción de H⁺ sobrepasa el sistema buffer de amortiguación produciendo un descenso del PH. El glucógeno intramuscular almacenado proporciona energía, durante el ejercicio intenso, para fosforilar al ADP durante el glucolisis anaeróbico, al no existir un aporte de oxígeno para aceptar los hidrogeniones, el piruvato se convierte en lactato. El lactato se forma aun en condiciones de reposo que es removido por los músculos cardíacos y esquelético, pero cuando la producción supera la tasa de remoción ante ejercicios intensos su producción se acumula. El lactato sanguíneo comienza a aumentar exponencialmente alrededor del 55% de la capacidad aeróbica máxima para una persona sana no entrenada. El aumento de la concentración de lactato en el ejercicio es la hipoxia (carencia de oxígeno) tisular relativa. Con la carencia de oxígeno, la glucólisis anaeróbica satisface las necesidades energéticas y la liberación de hidrogeniones comienza a superar su oxidación en la cadena respiratoria. Tradicionalmente se usa la medición del lactato en el entrenamiento para poder gestionar las diferentes intensidades en la planificación deportiva, la relación entre el lactato y el ejercicio hace más de 200 años que es objeto de estudio. Los cambios en la intensidad y duración del ejercicio afectan sensiblemente la concentración de lactato (Beneke et al., 2011). El test de

lactato consiste en obtener la medida de concentración de lactato a través de una muestra de sangre extraída mediante punción en dedo o lóbulo de la oreja, y se coloca en un analizador de lactato. Las concentraciones normales de lactato en sangre consideradas desde la segunda mitad del siglo XX eran de 0.8 a 2mM/l, mientras en el interior de la célula puede variar de 1 a 1.8 mM/l. El lactato se consideraba un desecho metabólico anaeróbico, paradigma que cambia en la primera mitad del siglo XXI, y responsable de la acidosis celular. El lactato es un intermediario metabólico que se produce y remueve constantemente, y su concentración depende la relación entre la tasa de producción respecto a la tasa de remoción lo que ha sido considerado como el turnover del lactato. Es un precursor de la glucosa, el lactato es un sustrato gluconeogénico lo que implica la producción de glucosa a partir de moléculas no glicosiladas, y al formarse alcaliniza el estado ácido-básico (Fernandez et al., 2019).

Con el entrenamiento se buscan las mejoras del rendimiento deportivo a través de diferentes estímulos (la carga), la valoración de las diferentes cargas cuantificadas sirve para gestionar la planificación en forma óptima los niveles de intensidad. La intensidad del entrenamiento es la variable más importante en la prescripción del trabajo de resistencia en la que determina la especificidad del estímulo, a la que hay que valorar y distribuir en el tiempo en forma específica para cada deportista (Pérez et al., 2019). La manipulación de la intensidad, su duración y frecuencia, tiene el objetivo de maximizar el rendimiento y minimizar lesiones. En el ciclismo la resistencia es la capacidad principal para la mejora del rendimiento, y la predicción de la transición de las zonas aeróbicas - anaeróbicas es necesaria para poder determinar las diferentes áreas de intensidades del entrenamiento. Para predecir las zonas de entrenamiento la medida de umbral de lactato es uno de los principales métodos, y por otro lado con los medidores de potencia el concepto de umbral funcional (FTP) con un uso más extendido para determinar las zonas de entrenamiento (Ferney & Leguizamo, 2020). Los trabajos planificados para las mejoras de las áreas aeróbicas y anaeróbicas tienen objetivos, según la fase de la temporada, de mejoras funcionales que contribuyen en la mejora del rendimiento deportivo como son: mayor capacidad de almacenar glucógeno a nivel muscular, aumento de la capilarización muscular, conversión de fibras rápidas a intermedias, retraso de la aparición del lactato. Actualmente el avance en la tecnología aplicada al entrenamiento deportivo, nos permite acceder a hardware portables con información como la geo posición (GPS) y los medidores de potencia que facilitan el acceso a la información de la sesión de entrenamiento, con lo cual la valoración es permanente y en tiempo real, permitiendo una cuantificación de la planificación y un perfil fisiológico del deportista, y un trabajo en función de las zonas de entrenamiento.

Métodos

Este estudio consiste en realizar un test incremental de carga progresiva a 10 ciclistas voluntarios amateur, en un rodillo inteligente al que se le adapta la bicicleta de cada ciclista. Los registros de las variables son cada 4 minutos en escalones de 30 W de Potencia, y se registran el % de SmO₂ y la concentración de lactato (mMol/l).

Muestra

Para el presente estudio considerando la muestra como un subconjunto de individuos de la población a ser estudiada. La muestra de este estudio es no probabilística según criterio de selección que consideraba aptos incluir para el estudio aquellos sujetos que cumplieran con ser ciclistas entrenados, con la práctica de ciclismo de al menos 2 años de entrenamiento consecutivo. Los ciclistas de la muestra representan a la categoría Elite en el marco de la

clasificación dada por la Unión de Ciclismo Internacional (UCI) en cuanto a ser mayores de 23 años y en actividad. La participación de los sujetos de la muestra fue voluntaria, siempre y cuando cumplieran con lo establecido como requisito y firmando el consentimiento en cuanto a la manipulación de muestras biológicas.

El N de la muestra inicial es de 10 sujetos, en el marco mundial sanitario afectado por el Coronavirus, se solicitó la baja del n de la muestra habiéndose modificado a N 6. Los sujetos 6 sujetos de la muestra son sexo masculino, con un promedio de edad de 28 ± 5 , un promedio de peso corporal de 66 ± 6 kg, y un promedio de estatura de 1.70 ± 0.04 m.

No hay indicación específica a los sujetos de la muestra respecto al tipo de ingesta a realizarse previo a la prueba, cada sujeto hace las ingestas habituales a sus rutinas individuales, se relevó la información de sus ingestas hasta 2 horas antes del test a modo de tener un insumo más a la hora de las conclusiones, y consistía en hidratos de carbono simples y proteínas.

Instrumentos de medición y técnicas

Se emplea un rodillo inteligente marca Tac modelo Flux 2 capaz de medir la potencia en vatios (w), Se coloca a cada ciclista en la pierna derecha a nivel del vasto externo un espectrómetro infrarrojo cercano (NIRS) muscular portable Humon Hex de dos fuentes de luz en la ventana y tres fotodetectores para medir la intensidad de la luz que se propaga a través de la piel. Por Bluetooth se comunica con un teléfono inteligente a través de la aplicación Moxzones que muestra el %SmO₂ y las zonas de entrenamiento coloreada en tiempo real a través del campo de datos que se descarga en dispositivo Garmin. Las zonas de entrenamiento son determinadas por color: verde (estado estable): cuando el suministro y consumo de oxígeno en el músculo están equilibrados, el atleta se está entrenando a un ritmo sostenible; naranja (aproximando límite): cuando el músculo comienza a consumir más oxígeno de lo que se le está suministrando, el atleta se está acercando al límite de su cuerpo; rojo (límite): cuando el músculo está consumiendo significativamente más oxígeno de lo que se está suministrando, el atleta se está entrenando a un ritmo insostenible; azul (recuperación): cuando el suministro de oxígeno es mayor que el consumo en músculo, lo que significa que los músculos de los atletas se están recuperando. La medición de lactato se hace a través de las muestras de sangre colocadas en los reactivos BM-Lactate de Laboratorio Roche y se analiza con Accutrend Plus que mide la concentración del lactato (mMol/l).

Se emplea una prueba de corte comparativo y en el análisis estadístico se utilizó el software SPSS 1.5. Para establecer la relación entre SmO₂ y la concentración de Lactato se utilizó el coeficiente de correlación lineal de Pearson. Se calcula la potencia del umbral de lactato y de oxigenación por método de una doble regresión lineal. A cada n de la muestra evaluada se le determinó la potencia de umbral de lactato para el valor de 4mMol/l.

Procedimiento

Previo al test cada ciclista recibe en forma escrita información respecto a los procedimientos y fines de la investigación, junto a una declaración de consentimiento de acuerdo a los principios establecidos en la Declaración de Helsinki, que cada uno firma en forma autónoma. Para este estudio se realiza un test incremental de carga progresiva con protocolo adaptado (Padilla et al. 1991), a ciclistas voluntarios que tenían al menos 2 años de entrenamiento consecutivo. Cada ciclista utilizando su propia bicicleta que se adapta al rodillo inteligente. Se coloca a cada ciclista en la pierna derecha a nivel del vasto externo un espectrómetro infrarrojo cercano (NIRS) muscular portable, el dispositivo Humon Hex, se registra en forma continua el % de SmO₂. Mediante una correa se engancha el dispositivo alrededor del muslo con un cierre de velcro (véase la Figura 1 y 2), sobre la piel van los detectores del nivel de oxígeno muscular. Mediante punción digital se toma de muestra de

sangre capilar y coloca en tira reactiva, se mide la concentración del lactato (mMol/l) durante el último minuto de cada escalón de 30W cada 4 minutos. Los escalones se realizan hasta el agotamiento, que es indicado por cada ciclista al no poder continuar pedaleando.



Figura 1. Ubicación del dispositivo Humon Hex

Resultados

Tendencia del SmO₂ y Lactato

Se presentan los resultados del comportamiento de tendencia del % de SmO₂ y de la concentración de lactato registrado en los incrementos de potencia efectuados a los 6 sujetos, representados en un diagrama de dispersión, en los cuales se aprecia que a medida que la intensidad aumenta la disponibilidad de oxígeno muscular baja, el músculo se desatura manifestando una disminución del % de SmO₂ (véase la Figura 2). Mientras que con el aumento de la intensidad del ejercicio el lactato en sangre aumenta (véase la Figura 3). En la medida que aumenta la intensidad (W) del ejercicio se aprecia que la disponibilidad de oxígenos muscular necesario para las reacciones metabólica oxidativas baja, el oxígeno se encarga de oxidarla glucosa muscular disponible y así suministrar energía que da sustento a las demandas del ejercicio. Con el aumento de la intensidad los músculos no pueden atender la demanda de oxígeno por lo que el catabolismo de la glucosa produce el lactato y aumenta su concentración como producto de la vía metabólica anaeróbica láctica de obtención de energía.

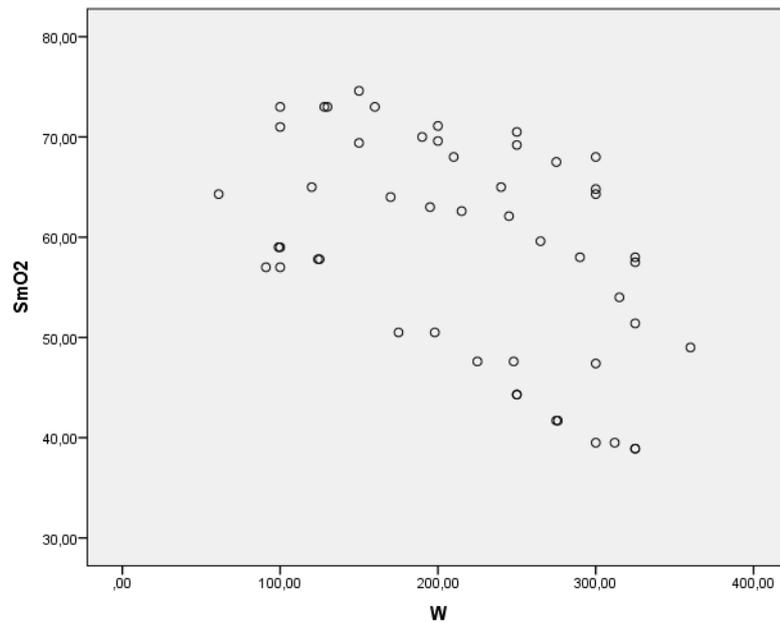


Figura 2. Diagrama de dispersión de la SmO2 y la Potencia

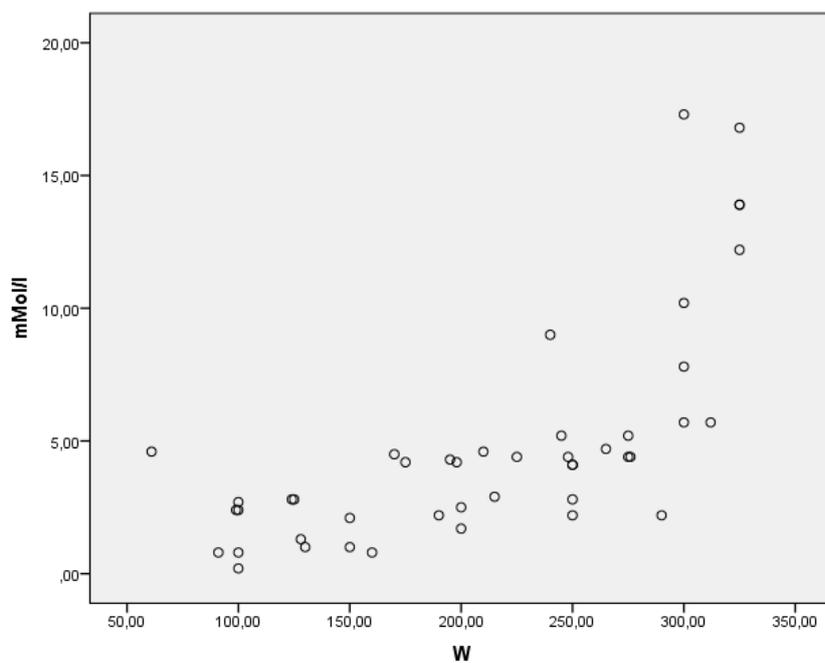


Figura 3. Diagrama de dispersión de la concentración de lactato y la Potencia

Promedios iniciales

Al inicio de la prueba previo a los aumentos progresivos de la carga se registraron los valores de la SmO₂ y la concentración de lactato de los sujetos. Los resultados promedios obtenidos fueron de 64,3 % ± 9,7 para el % SmO₂ (véase la tabla 1) y la concentración de lactato de 0,86 ± 0,72 mMol/l (véase la tabla 2).

Tabla 1
Promedio del % SmO2 al inicio del test

SmO2 reposo Media	N	Desv. típ.
64	6	5,3

Tabla 2
Promedio de la concentración del lactato al inicio del test.

Lactato Media	N	Desv. típ.
1,6	6	1,7

Análisis de correlación

Se calcularon la correlación de Pearson para cada uno de los sujetos de la muestra, y el promedio fue de $-0,87 \pm 2,7$ (véase la Tabla 3). Del análisis de correlación de Pearson se obtiene como resultado que la concentración de lactato y la SmO2 tienen una relación negativa, una correlación contradictoria entre sí, dado a que mientras el valor de la SmO2 baja el valor de la concentración de lactato aumenta. Dicha correlación negativa expresa un comportamiento inverso entre ambas variables, lo que significa que la disponibilidad de oxígeno muscular a medida que aumenta la intensidad va disminuyendo y la concentración del lactato muestra el comportamiento contrario, a medida que aumenta la potencia aumenta su concentración.

Tabla 3
Promedio de correlación de Pearson entre la concentración de lactato y el % de SmO2.

SmO2 Media	N	Desv. típ.
-0,8	6	0,1

Potencia Umbral de lactato y SmO2

Para cada sujeto se determina el % SmO2 correspondiente a la potencia del Umbral de lactato. El promedio coincidente con el umbral de lactato (4 mMoles/lit) fue de $62 \% \pm 8,14 \%$ de SmO2 (véase la Tabla 4). En cuanto a los datos del % de SmO2 obtenidos del dispositivo NIRS los algoritmos del software del Humon Hex estimaron el umbral de lactato a una diferencia de tiempo promedio de $87 \pm 27,5''$ con una potencia promedio de $13 \pm 18,5$ W.

Tabla 4
Promedio de % SmO2 del umbral de lactato.

SmO2 Media	N	Desv. típ.
62	6	8,1

Discusión

Comportamiento del SmO2 y lactato

Se constata que antes de iniciar la prueba hay concentración de lactato en cada sujeto entre 0.8 a 2mM/l en la sangre, concentraciones normales tal como se indica en estudios (Brooks, 2020) coincidiendo en que la producción de lactato ocurre en reposo, así como ante la exposición al ejercicio. Desterrando la idea de que la producción de lactato se daba en condiciones anaeróbicas a nivel celular. El lactato formado aún en condiciones de reposo es removido por los músculos cardíacos y esquelético, pero cuando la producción supera la tasa de remoción por ejercicios intensos el lactato se acumula y aumenta su concentración.

Al igual que en otros estudios (Farzam, Starkweather, et al., 2018) ante la demanda de mayor potencia el oxígeno disponible en el músculo es menos, el % de SmO2 disminuye y aumenta en la recuperación. Las cargas progresivas y el esfuerzo de los sujetos influyen tanto en la concentración de lactato como en el % de SmO2, la intensidad del ejercicio influye sobre la capacidad de producir energía presentando cambios a nivel fisiológico medibles los valores del lactato aumentan mientras que los valores del SmO2 disminuyen. Siendo la glucólisis (San-Millán et al., 2020) una de las principales vías energéticas debido a sus altas tasas de generación de ATP en condiciones anaeróbica que satisface las necesidades energéticas, y la liberación de hidrogeniones comienza a superar su oxidación en la cadena respiratoria.

Ambas técnicas usadas son medidas indirectas del metabolismo oxidativo, el dispositivo NIRS de medida de %SmO2 es una técnica que garantiza la cuantificación precisa de los cambios de oxigenación dentro del músculo representando la cinética entre la oferta y la demanda de oxígeno (O2); y la concentración del lactato en sangre es sensible a los cambios de intensidad y duración del ejercicio. La medida del comportamiento del SmO2 es en tiempo real y se va registrando mientras realiza el ejercicio, la obtención del lactato en sangre es de forma invasiva y en un momento determinado en que se pausa el ejercicio.

Umbral de lactato y potencia

Los niveles de lactato en sangre son utilizados para ayudar a determinar la intensidad del ejercicio de entrenamiento según (Fernandez et al., 2019). El umbral de lactato permite identificar las zonas de entrenamiento para planificar las cargas en pro de las mejoras del rendimiento en forma individual, entendiendo que las mejoras oxidativas de la glucosa son fundamental para evitar el aumento del lactato. Durante los ejercicios intensos la obtención de la energía es a través de la glucólisis, y se produce la reducción del piruvato a lactato para sostener la demanda energética, pero si el lactato no logra ser removido sus H⁺ se acumulan e imposibilitan la continuidad del ejercicio.

Se establece en cada sujeto la potencia (W) correspondiente al valor del umbral de lactato de 4mMol/l que es donde se da la transición aeróbica anaeróbica según lo plantea y sirve como un dato fundamental para establecer las zonas de entrenamiento propuesto por (Ferney &

Leguizamo, 2020) y hacer la prescripción de la intensidad. No se logró encontrar un valor de potencia (W) del umbral absoluto estándar para todos los sujetos de la muestra en concordancia con otro estudio (Farzam, Starkweather, et al., 2018) en donde hay diferencia entre las potencias correspondientes a los 4 mMol/lit del umbral de lactato entre los sujetos, dejando de manifiesto según lo plantea (San-Millán et al., 2020) las características metabólicas individuales en función de la cantidad de lactato producido a una potencia determinada. Las diferentes potencias en las que los sujetos generan la concentración de 4mMoles correspondientes al Umbral de lactato permiten identificar aquellos sujetos que tienen mejor capacidad de eliminación de lactato son eficientes y por lo tanto exportan menos lactato a la sangre (Brooks, 2020).

SmO2 y potencia Umbral de lactato

Además de los valores de %SmO2 que genera el Humon Hex, también muestra los gráficos de colores y la interpretación coincide según el ritmo planteado por (Farzam, Starkweather, et al., 2018) en la forma en que los músculos están consumiendo oxígeno a medida que aumenta la intensidad del ejercicio se presenta de color naranja y se transforma en rojo, la transición del naranja al rojo constituye la estimación del umbral de lactato. Al no presentarse un valor de potencia (W) del umbral absoluto estándar para todos los sujetos de la muestra no se puede considerar el % de SmO2 percibe como una medida de estimación de la potencia del umbral de lactato ya que no hay un valor de potencia del % de SmO2 que indique el umbral de lactato. Pero al hacer la comparación entre la potencia del umbral de lactato a cada sujeto, y la cinética de la saturación del oxígeno en músculo con la estimación del umbral por lo algoritmo del software del Humon Hex da una diferencia promedio de $13W \pm 18,5$ de potencia y una diferencia de tiempo promedio de $87'' \pm 27,5$, siendo en otro estudio (Farzam, Starkweather, et al., 2018) la diferencia promedio de 21.4W y en menos de 3' la medida de lactato. Por lo tanto, se puede considerar el resultado del análisis del software del Humon Hex, como una herramienta posible de identificar las zonas de entrenamiento por ser una técnica no invasiva, reproducible y con resultados en tiempo real la difusión de su uso es prometedor en entrenamiento como en la competencia.

Conclusiones

En este estudio vemos que las zonas de intensidad que se pueden establecer a partir de la determinación del umbral de lactato, con los registros del % de SmO2 también es posible identificar las zonas de entrenamiento. Al correlacionar un parámetro fisiológico como el de la concentración de lactato con la las zonas metabólicas establecidas a partir del % de SmO2 a través de la técnica NIRS, se puede observar que en la zona de umbral anaeróbico hay una correlación donde el %de SmO2 disminuye por las demandas de O2 de los músculos, y la curva de lactato que se mantenía estable entre la producción y su remoción, presenta un punto de ruptura con mayor producción de lactato en la sangre.

Limitaciones

En cuanto a las limitaciones, se observa que la SmO2 tanto a nivel basal como en el umbral de lactato presenta una amplia dispersión de sus valores que limita su utilidad. si bien el n de la muestra es bajo se puede confirmar la hipótesis y considerar estos datos prometedores para aplicar el Humon Hex como una herramienta equivalente al test de lactato en la determinación indirecta de la intensidad, con la ventaja de no ser invasiva y eficiente en tiempo y costo. En cuanto a líneas de mejoras de orden teórico sería bueno poder contar con más investigaciones al respecto, y tener un mayor n que nos de mayor certeza de los datos. En cuanto

a los metodológico incidir en la similitud de las ingestas previas al test, y considerar datos antropométricos principalmente pliegues y grasa subcutánea en relación a incidencia en uso del NIRS.

Recomendaciones

El dispositivo NIRS Humon Hex es una herramienta que, a diferencia del test de lactato, no es invasiva y se pueden obtener datos en tiempo real del músculo implicado en el ejercicio. Puede ser usada para prescribir las cargas del entrenamiento, la interpretación de la cinética y los cambios del % SmO₂ durante el ejercicio puede ser una referencia muy útil que permite determinar el agotamiento o la recuperación del ciclista. El uso combinado del Humon Hex con la medición de otros parámetros tales como la frecuencia cardíaca, la potencia, o la velocidad entre otros, permitiría contribuir al control de las cargas del entrenamiento, y así entender las repercusiones fisiológicas provocan los diferentes estímulos. Usar estos datos en el proceso de entrenamiento junto a otras variables sería una gran ventaja que aumentaría las posibilidades de control y que enriquecer el criterio para la toma de decisiones, fundamental para lograr las mejoras del rendimiento deportivo. En cuanto a futuras líneas de investigación, poder investigar si los mismos deportistas siguiendo un plan de entrenamiento con miras a las mejoras de la capacidad aeróbica, expuestos al mismo test, es posible encontrar mayores manifestaciones de potencia en el umbral de lactato y zona de desaturación.

Referencias

- Beneke, R., Leithäuser, R. M., & Ochentel, O. (2011). Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(1), 8–24. <https://doi.org/10.1123/ijsp.6.1.8>
- Brooks, G. A. (2020). Lactate as a fulcrum of metabolism. *Redox Biology*, 35, 101454. <https://doi.org/10.1016/J.REDOX.2020.101454>
- Farzam, P., Starkweather, Z., & Franceschini, M. A. (2018). Validación de una nueva tecnología inalámbrica portátil para estimar los niveles de oxígeno y la potencia del umbral de lactato en el músculo en ejercicio. *Physiological Report*, 6(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.14814/phy2.13664>
- Farzam, P., Starkweather, Z., & Franceschini, M. A. (2018). Validation of a Novel Wearable Technology to Estimate Oxygen Saturation Level and Lactate Threshold Power in the Exercising Muscle. *Biophotonics Congress: Biomedical Optics Congress 2018 (Microscopy/Translational/Brain/OTS)*, Part F91-T, JTU3A.23. <https://doi.org/10.1364/TRANSLATIONAL.2018.JTU3A.23>
- Fernandez, E., Romero, O., Merino, R., & Cañas del Palacio, A. (2019). Umbral Anaeróbico. Problemas conceptuales y aplicaciones prácticas en deportes de resistencia. *Retos*, 36, 521–528.
- Ferney, W., & Leguizamo, J. (2020). *Entre el Umbral Funcional de Potencia (FTP) y el Umbral de lactato en los ciclistas del equipo de Bocaya A*. 15(1), 11–15.
- Ferrari, M., Muthalib, M., & Quaresima, V. (2011). The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: recent developments. *Trans. R. Soc. A*, 369, 4577–4590. <https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0230>
- Ferrari, M., & Quaresima, V. (2012). Near Infrared Brain and Muscle Oximetry: From the Discovery to Current Applications. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 20(1), 1–14. <https://doi.org/10.1255/jnirs.973>
- Pérez, A., Ramos-Campo, D. J., Freitas, T. T., Rubio-Arias, J., Marín-Cascales, E., & Alcaraz, P. E. (2019). Effect of two different intensity distribution training programmes on aerobic

- and body composition variables in ultra-endurance runners. *European Journal of Sport Science*, 19(5), 636–644. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1539124>
- Pino Ortega, J., Bastida Castillo, A., & Gómez Carmona, D. C. (2019). Uso de la espectroscopia de infrarrojo cercano para la medición de la saturación de oxígeno muscular en el deporte. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, 12(1), 41–46.
- Racinais, S., Buchheit, M., Girard, O., & Perrey, S. (2014). *Breakpoints in ventilation, cerebral and muscle oxygenation, and muscle activity during an incremental cycling exercise*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00142>
- Rodriguez, E. F., Ramos, Ó. R., Marbán, R. M., & Del Palacio, A. C. (2019). Anaerobic threshold. Conceptual problems and practical applications in endurance sports. *Retos*, 2041(36), 401–408.
- San-Millán, I. (2020). Diabetes tipo 1 y ejercicio Type 1 diabetes and exercise. *Rev Esp Endocrinol Pediatr*, 11(1), 93–98.
- San-Millán, I., Stefanoni, D., Martinez, J. L., Hansen, K. C., D'Alessandro, A., & Nemkov, T. (2020). Metabolomics of Endurance Capacity in World Tour Professional Cyclists. *Frontiers in Physiology*, 0, 578. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2020.00578>
- Schulte, E. (2019). Humon cofounder and CEO Alessandro Babini is one of Fast Company's Mos. *Fast Company*. <https://www.fastcompany.com/90341798/most-creative-people-2019-humon-alessandro-babini>
- Van Der Zwaard, S., Jaspers, R. T., Blokland, I. J., Achterberg, C., Visser, J. M., Den Uil, A. R., Hofmijster, M. J., Levels, K., Noordhof, D. A., De Haan, A., De Koning, J. J., Van Der Laarse, W. J., & De Ruiter, C. J. (2016). *Oxygenation Threshold Derived from Near-Infrared Spectroscopy: Reliability and Its Relationship with the First Ventilatory Threshold*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162914>
- Winn, Z. (2018). Seguimiento de los músculos para mejorar el entrenamiento deportivo | Noticias del MIT | Instituto de Tecnología de Massachusetts. *MIT News*. <https://news.mit.edu/2018/humon-monitoring-muscle-oxygen-1025>

Fecha de recepción: 26/06/2021

Fecha de revisión: 20/09/2021

Fecha de aceptación: 28/09/2021

