

REPORTE DE CASO

Oxygenación en músculos respiratorios y locomotores durante el ejercicio máximo en dos corredores de maratón.

Oxygenation of respiratory and locomotor muscles during maximal exercise in two marathon runners.

Felipe Contreras-Briceño. *MSc.*^{a,b}; Maximiliano Espinosa-Ramirez. *MSc.*^a; Francisco Cerda.^a; Miguel Carrasco.^a; Diego Henríquez.^a; Gonzalo Hevia.^a; Oscar Araneda. *PhD.*^c; Ginés Viscor. *PhD.*^b

^a Laboratorio de Fisiología del Ejercicio, Departamento Ciencias de la Salud, Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile. Avenida Vicuña Mackenna #4860, Macul, Santiago, Región Metropolitana, Chile.

^b Sección de Fisiología, Departamento de Biología Celular, Fisiología e Inmunología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona. Avenida Diagonal #643, Barcelona, España.

^c Laboratorio de Biomecánica y Fisiología del Esfuerzo, Carrera de Kinesiología, Facultad de Medicina, Universidad de los Andes. Monseñor Álvaro del Portillo #12455, Las Condes, Santiago, Región Metropolitana, Chile.

Autor para correspondencia: Sr. Felipe Andrés Contreras Briceño; Dirección: Avenida Vicuña Mackenna #4860, Campus San Joaquín, Edificio Ciencias de la Salud, Macul, Santiago, Región Metropolitana, Chile; Correo electrónico: fcontrerasb@uc.cl; Teléfono: +56 2 23541353

Enviado el 04 de mayo 2020 / Aceptado el 05 de septiembre 2020

Resumen:

Un elevado trabajo respiratorio (*work of breathing*, WOB) asociado a la hiperventilación pulmonar durante el ejercicio físico puede limitar el rendimiento deportivo en corredores de maratón. Evaluar los cambios del WOB durante el ejercicio físico máximo, como es la prueba de consumo de oxígeno ($\dot{V}O_2$ -máx), permite conocer la intensidad de ejercicio a la cual el WOB limita la entrega de nutrientes y oxígeno en músculos periféricos implicados en la locomoción. La evaluación no invasiva de la saturación de oxígeno a nivel muscular (SmO_2) por medio de la interpretación de

ondas cercanas al rango infrarrojo (*Near Infrared Spectroscopy*, NIRS) es un método novedoso y útil para cuantificar el trabajo muscular, aplicable tanto en musculatura intercostal (SmO_2 -*m.intercostales*) para el WOB, como en musculatura locomotora (SmO_2 -*m.vastus laterallis*) para la carga periférica. Así, a medida que aumenta la intensidad del esfuerzo físico es esperable una mayor disminución en SmO_2 ; sin embargo, se desconoce como la estrategia ventilatoria usada para alcanzar la hiperventilación pulmonar afecta la SmO_2 de estos grupos musculares, cuyo trabajo muscular los afecta recíprocamente a través

Oxigenación en músculos respiratorios y locomotores durante el ejercicio máximo en dos corredores de maratón

del reflejo metabólico. Como caso clínico, presentamos los cambios en $\text{SmO}_2\text{-m.intercostales}$ (WOB) y locomotora ($\text{SmO}_2\text{-m.vastus laterallis}$) durante la prueba de $\dot{V}\text{O}_2\text{-máx.}$ en dos corredores competitivos de maratón de similares características antropométricas, capacidad física, régimen de entrenamiento e historial deportivo. El objetivo es entregar nueva información que muestre cómo la estrategia ventilatoria adoptada durante el ejercicio puede limitar el trabajo muscular periférico realizado.

Palabras claves: *Ejercicio, Oxigenación muscular, Respiración, Trabajo respiratorio.*

Abstract:

A high work of breathing (WOB) associated with pulmonary hyperventilation during physical exercise, may limit sports performance in long-distance runners (e.g. marathon). The assessment of changes in WOB during maximal oxygen consumption test ($\dot{V}\text{O}_2\text{-máx.}$) allows knowing the intensity of exercise at which the higher WOB limits the delivery of nutrients and oxygen in muscles involved during locomotion. The non-invasive assessment of muscle oxygenation (SmO_2) by the interpretation of wavelengths of near-infrared range (Near-Infrared Spectroscopy, NIRS) is a useful and new method to quantify muscle work, used at intercostal muscles ($\text{SmO}_2\text{-m.intercostales}$) to the WOB, and at locomotor muscles ($\text{SmO}_2\text{-m.vastus laterallis}$) to external load. Thus, as the intensity of exercise increases, a higher decrease in SmO_2 is showed. However, until now is unknown how the ventilatory strategy used to achieve pulmonary hyperventilation affects the SmO_2 of these muscle groups, whose muscle work affects them reciprocally through the metabolic reflex.

As a report-case, we present the changes in $\text{SmO}_2\text{-m.intercostales}$ (WOB) and peripheral ($\text{SmO}_2\text{-m.vastus laterallis}$) during the $\dot{V}\text{O}_2\text{-máx.}$ test. in two competitive marathon runners with similar anthropometric characteristics, physical performance, training regimen and sports history. The objective is to give new information for identifying that the ventilatory strategy used during exercise can affect the local oxygenation in muscles with high demand during exercise. To evaluate this aspect, helping to coach improving the exercise performance in their athletes.

Introducción

En pruebas físicas de larga distancia, corredores de maratón con mayor capacidad máxima de consumo de oxígeno ($\dot{V}\text{O}_2\text{-máx}$) han mostrado mejor rendimiento deportivo (1)(2). Para alcanzar un elevado $\dot{V}\text{O}_2$ se requiere aumentar el flujo sanguíneo (Q) en músculos implicados en el gesto deportivo (ej. *m.vastus laterallis*, *m.tibialis anterior*, etc.), asegurando así la entrega de nutrientes y oxígeno, y depurando metabolitos provenientes de la contracción (3). Por otra parte, se requiere aumentar la ventilación pulmonar ($\dot{V}\text{E}$) con el objetivo de asegurar la hematosis sanguínea (4). Para esto, se requiere mayor acción de músculos respiratorios (ej. *m.intercostales*, *m.serratus anterior*, etc.), incrementando el trabajo o costo energético asociado a la respiración (*work of breathing*, WOB) desde un 3 al 5 % hasta 15% en deportistas (5) y 20-25% en no entrenados (6). Un mayor WOB conlleva la disminución del Q en músculos locomotores (reflejo metabólico), fenómeno implicado en la limitación del rendimiento deportivo (7).

El aumento en la $\dot{V}\text{E}$ se debe a una mayor frecuencia respiratoria (Fr) y/o volumen

Oxigenación en músculos respiratorios y locomotores durante el ejercicio máximo en dos corredores de maratón

corriente (V_c) (8). La estrategia ventilatoria usada en el ejercicio varía dependiendo del sexo (9), la disciplina deportiva (10) y el modo de ejercicio (11), entre otros. Hasta el momento se desconoce el impacto que tienen las diferentes estrategias ventilatorias adoptadas durante el ejercicio sobre el WOB. Esto es relevante pues para optimizar el rendimiento deportivo, los atletas deberían ser capaces de realizar la hiperventilación pulmonar usando aquella estrategia ventilatoria que implique el menor gasto energético o WOB, porque de esa manera no se limita la entrega de nutrientes y oxígeno en músculos locomotores, aspectos esenciales para mantener la actividad contráctil propia del gesto deportivo.

Una forma reciente de evaluar el trabajo muscular es cuantificando los cambios en la oxigenación local (SmO_2), utilizando la tecnología de espectroscopia de luz cercana al rango infrarrojo (*Near-Infrared Spectroscopy*, NIRS) (630-850 nm). Así, la evaluación de la SmO_2 en músculos intercostales (SmO_2 -*m.intercostales*) y locomotores (SmO_2 -*m.vastus laterallis*) permite la cuantificación del WOB y carga periférica, respectivamente. Nuestro grupo de investigación reportó recientemente la confiabilidad en la evaluación de la SmO_2 -*m.intercostales* y SmO_2 -*m.vastus laterallis* durante el ejercicio físico máximo e incremental, siendo *excelente* en ambos grupos musculares en altas intensidades de ejercicio, donde a su vez se alcanzan los mayores valores de VE y homogeneidad en las estrategias ventilatorias adoptadas en el ejercicio reflejado en los cambios de variables ventilatorias (Fr y V_c) (12).

Con el objetivo de mostrar cómo la estrategia ventilatoria adoptada durante el ejercicio afecta el trabajo muscular periférico

realizado durante una prueba física incremental y máxima, se presenta este reporte de casos en donde se muestran los cambios de la SmO_2 -*m.intercostales*, como reflejo del WOB; SmO_2 -*m.vastus laterallis*, como reflejo de la carga periférica; y variables ventilatorias ($\dot{V}E$, Fr , V_c) en dos corredores de maratón con similares características antropométricas (peso, talla, IMC) y rendimiento físico ($\dot{V}O_2$ -máx) durante la prueba de $\dot{V}O_2$ -máx.

Metodología

Sujetos

En este reporte de caso participaron dos corredores competitivos de maratón. **Deportista 1:** Varón (24 años, 60 kg, 174 cm) con volumen de entrenamiento habitual de 105 km semanales. Mejor tiempo en maratón de 2 horas, 30 minutos, 20 segundos. **Deportista 2:** Varón (24 años, 61 kg, 175 cm) con volumen de entrenamiento habitual de 102 km semanales. Mejor tiempo en maratón de 2 horas, 32 minutos, 15 segundos. Ambos deportistas firmaron el consentimiento informado antes de comenzar la evaluación, la cual se realizó en el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la Pontificia Universidad Católica de Chile por personal especializado. Este proyecto fue aprobado por el comité de ética de la Pontificia Universidad Católica de Chile (nº 180305007), considerando la Declaración de Helsinki referente a la experimentación en humanos estando en concordancia a estándares éticos sugeridos por Harris, Macsween y Atkinson (13).

Mediciones

Los participantes no realizaron actividad física en las 24 horas previas a la evaluación y se les instruyó suspender la ingesta alimentaria por al menos 3 horas previas. La medición consistió en una prueba de

Oxigenación en músculos respiratorios y locomotores durante el ejercicio máximo en dos corredores de maratón

consumo de oxígeno máximo ($\dot{V}O_2$ -máx.) en condiciones controladas de Laboratorio (t° ambiental $22 \pm 2^\circ$ Celsius, humedad relativa $40 \pm 2\%$) en un ergómetro de cinta rodante (HP Cosmos™, Traunstein, Alemania) hasta el agotamiento voluntario. El protocolo consistió en 5 minutos a $8 \text{ km} \cdot \text{hr}^{-1}$ como fase de calentamiento, posterior aumento de $2 \text{ km} \cdot \text{hr}^{-1}$ cada 150 segundos como fase central del ejercicio, hasta obtener criterios establecidos de detención de la prueba (14). La pendiente de la cinta rodante se mantuvo constante en 2%. Durante la evaluación, se registró la frecuencia cardíaca (FC), saturación de pulso (SpO_2), variables ventilatorias ($\dot{V}E$, Fr, Vc) y sensación subjetiva de esfuerzo. Los datos respiratorios se analizaron respiración por respiración utilizando espirometría de circuito abierto y se expresaron en condiciones STPD (MasterScreen CPX, Jaeger™, Alemania).

Saturación muscular de oxígeno (SmO_2)

El registro de la SmO_2 y hemoglobina total (THb) fue en forma simultánea en *m.intercostales* y *m.vastus laterallis* durante la prueba de $\dot{V}O_2$ -máx en cinta rodante, utilizando dispositivos MOXY® (Moxy, Fortiori Design LLC, Minnesota, EE. UU) el que a través del principio de espectroscopía de luz cercana al rango infrarrojo (*Near-Infrared Spectroscopy*, NIRS) (630-850 nm) estima la proporción de hemoglobina y mioglobina unida o no a oxígeno en la microcirculación del territorio muscular. La posición de los dispositivos se basó en protocolo utilizado previamente por nuestro grupo de investigación (12). Así, en *m.intercostales* el dispositivo se ubicó en el séptimo espacio intercostal del hemitórax derecho en línea axilar anterior (**Figura 1a**); y en *m.vastus laterallis* se ubicó 4 cm externo-lateral al punto medio entre la espina iliaca antero superior y el borde superior de la patella (**Figura 1b**).

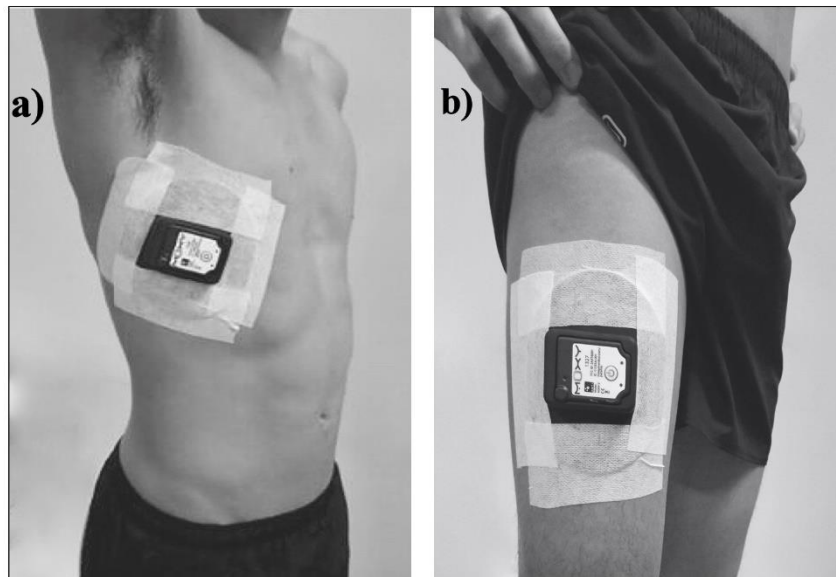


Figura 1. Ubicación de los dispositivos de medición de SmO_2 .

Análisis de datos

Para la adecuada recolección de información, se sincronizó el inicio de

Oxigenación en músculos respiratorios y locomotores durante el ejercicio máximo en dos corredores de maratón

registro de las variables obtenidas en el ergoespirómetro y la SmO_2 . Así, se realizó un registro inicial de 90 segundos, seguido de 180 segundos correspondientes a la fase reposo. Para el análisis de datos se seleccionaron las fases umbral ventilatorio 1 (VT1) o umbral aeróbico, umbral ventilatorio 2 (VT2) o umbral anaeróbico o punto de compensación respiratoria, y valor máximo de $\dot{V}O_{2\text{-máx}}$. La determinación de los umbrales se realizó mediante el método visual por dos evaluadores experimentados y ciegos a las mediciones.

El máximo valor alcanzado en la prueba se identificó como fase de $\dot{V}O_{2\text{-máx}}$, considerado como el valor más alto de los últimos 30 segundos obtenidos durante la prueba incremental de esfuerzo máximo, considerando un índice válido de $\dot{V}O_{2\text{-máx}}$ en sujetos que ejercen su límite de tolerancia al esfuerzo (15). Los valores de las variables de interés corresponden al promedio de los últimos 30 segundos de las fases: Reposo, VT1, VT2, y $\dot{V}O_{2\text{-máx}}$. (16).

Los valores de SmO_2 presentan variabilidad entre grupos musculares principalmente porque en su análisis se incluye tanto la cuantificación de hemoglobina como mioglobina (correspondiente alrededor del 30 a 50% de la señal), cuya concentración es

variable dependiendo de las características morfológicas y estructurales de los diferentes grupos musculares, por lo que en la literatura científica no existen valores de normalidad como referencia. Con la finalidad de visualizar adecuadamente el comportamiento intra y entre grupos musculares evaluados en los deportistas, se realizó la estandarización de los valores obtenidos mediante el traspaso a unidades normalizadas o arbitrarias ($SmO_{2\text{-}m.intercostales}$ (u.n) y $SmO_{2\text{-}m.vastus laterallis}$ (u.n)), considerando el valor en etapa Reposo de cada grupo muscular como referencia y asignación de valor 1.0. Los cambios obtenidos en el resto de las etapas se expresan proporcionalmente respecto a la etapa Reposo. Con la finalidad de visualizar cómo la diferente estrategia ventilatoria usada por los deportistas afecta la oxigenación de los grupos musculares evaluados, se presenta los cambios de la relación o razón entre $SmO_{2\text{-}m.intercostales}$ (u.n) / $SmO_{2\text{-}m.vastus laterallis}$ (u.n) en las etapas respectivas.

Resultados

La **Tabla 1** muestra los valores de SmO_2 y THb en las fases Reposo, umbral ventilatorio 1 (VT1), 2 (VT2), y $\dot{V}O_{2\text{-máx}}$.

Oxigenación en músculos respiratorios y locomotores durante el ejercicio máximo en dos corredores de maratón

Tabla 1. Valores de variables.

	Deportista 1	Deportista 2
$\dot{V}O_2$-máx		
Absoluto, (mL·min ⁻¹)	4278	4416
Relativo, (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	71.3	72.4
SmO₂-m. intercostales, %		
Reposo	67	75
VT1	62	80
VT2	47	82
Máximo	37	45
Δ (Reposo-Máximo)	30	30
SmO₂-m.intercostales, u.n		
Reposo	1.00	1.00
VT1	0.92	1.06
VT2	0.70	1.09
Máximo	0.55	0.6
Δ (Reposo-Máximo)	0.45	0.40
SmO₂-m.vastus laterallis, %		
Reposo	60	63
VT1	42	45
VT2	20	26
Máximo	15	17
Δ (Reposo-Máximo)	45	46
SmO₂-m.vastus laterallis, u.n		
Reposo	1.00	1.00
VT1	0.70	0.71
VT2	0.33	0.41
Máximo	0.25	0.27
Δ (Reposo-Máximo)	0.75	0.73
$\dot{V}E$, L·min⁻¹		
Reposo	9	8
VT1	43	41
VT2	88	92
Máximo	166	168
Δ (Máximo-Reposo)	157	160
Vc, L		
Reposo	0,642	0,533

$\dot{V}O_2$ -máx: consumo de oxígeno máximo; SmO₂: saturación muscular de oxígeno; $\dot{V}E$: ventilación pulmonar; Vc: volumen corriente; Fr: frecuencia respiratoria.

Oxigenación en músculos respiratorios y locomotores durante el ejercicio máximo en dos corredores de maratón

La **Figura 2** muestra los cambios absolutos de estas variables en la evaluación de $\dot{V}O_2$ -máx en los grupos musculares evaluados.

La **Figura 3** muestra los cambios estandarizados (u.n) en la evaluación de $\dot{V}O_2$ -máx en los grupos musculares evaluados (3a y 3b), y la relación entre ellos (3c).

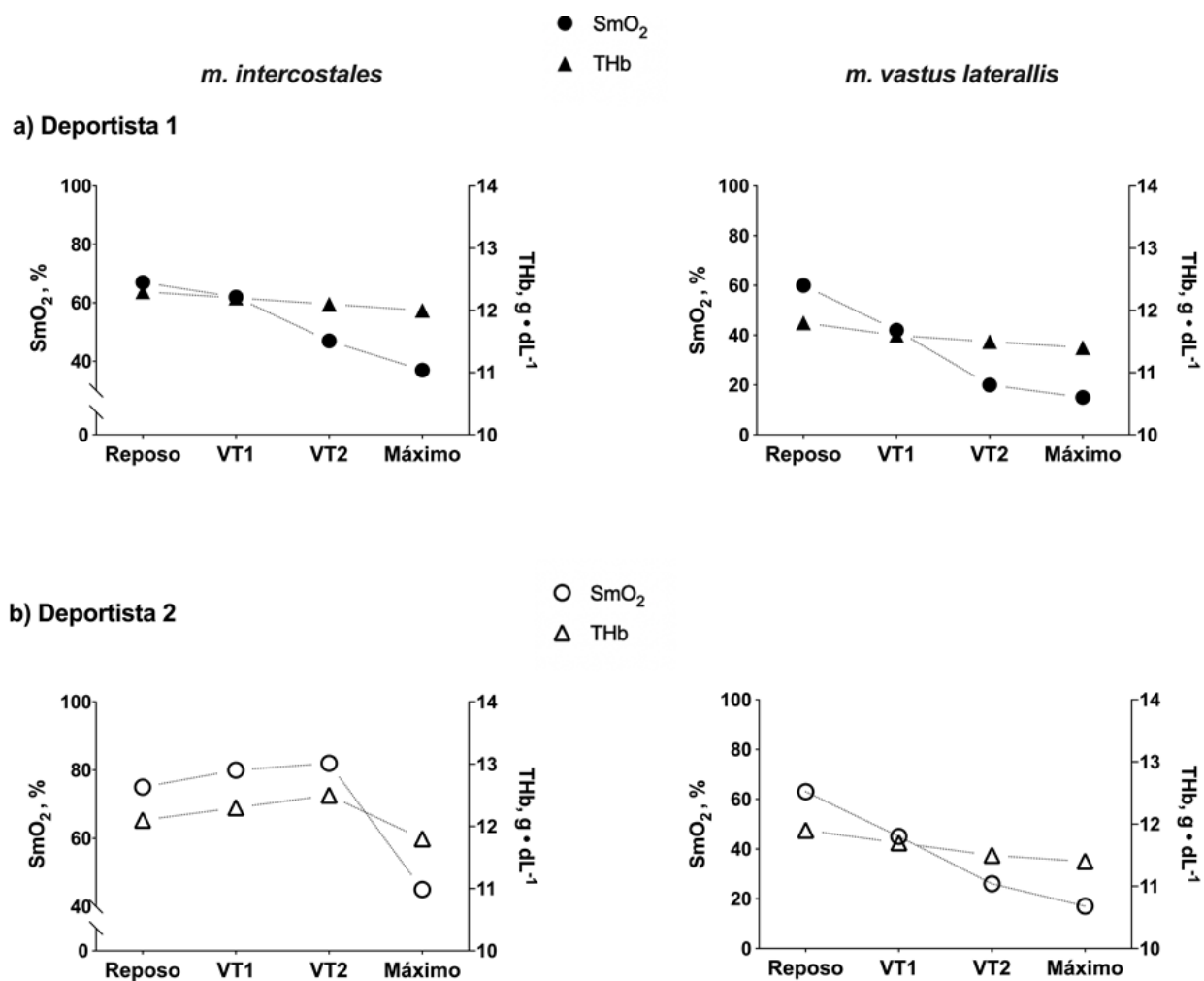


Figura 2. Valores absolutos de saturación muscular de oxígeno (%) y hemoglobina total (mg·dL⁻¹) durante la valoración de consumo de oxígeno máximo en *m.intercostales* y *m.vastus laterallis*. a) Deportista 1. b) Deportista 2.

Oxigenación en músculos respiratorios y locomotores durante el ejercicio máximo en dos corredores de maratón

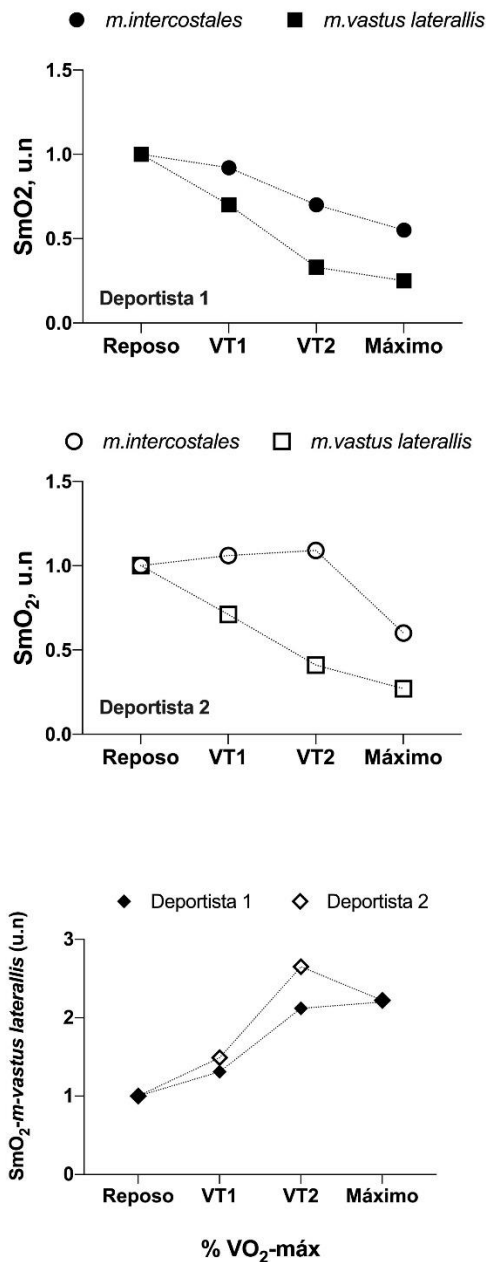


Figura 3. Valores estandarizados (unidades normalizadas, u.n) de la saturación muscular de oxígeno durante la valoración de consumo de oxígeno máximo en *m.intercostales* y *m.vastus laterallis*. a) Deportista 1. b) Deportista 2. c) Relación entre u.n de *m.intercostales* y *m.vastus laterallis* de ambos deportistas.

Los deportistas alcanzaron similar capacidad aeróbica máxima ($\dot{V}O_2$ -máx.) (Tabla 1). En ambos, la SmO_2 -*m.intercostales* disminuyó

un 30% (ΔSmO_2 (Reposo-Máximo), pero presentaron diferentes cambios en las distintas fases (Figura 2 y 3). El deportista 1

Oxigenación en músculos respiratorios y locomotores durante el ejercicio máximo en dos corredores de maratón

disminuyó progresivamente este valor en comparación al reposo (vs. VT1; vs VT2; vs Máx), sin cambios en la THb (como indicador de flujo sanguíneo). En el deportista 2 aumentó la SmO_2 -*m.intercostales* hasta VT2, para posteriormente disminuir repentinamente, sin cambios en la THb (**Figura 2**). Respecto a la SmO_2 -*m.vastus laterallis*, ambos deportistas presentaron similar comportamiento, disminuyendo el valor en comparación a la etapa Reposo (vs. VT1; vs VT2; vs $\dot{V}O_2$ -máx.); mientras que la THb se mantuvo constante. En cuanto a la ventilación pulmonar ($\dot{V}E$), ambos presentan similar aumento, diferenciándose en la estrategia usada para alcanzar este valor. Así, el deportista 1 incrementó principalmente la Fr, mientras que el deportista 2 el Vc (**Tabla 1**). El efecto de estos cambios se puede visualizar al estandarizar los valores de SmO_2 , mediante el traspaso a unidades normalizadas (u.n) (**Figura 3**), especialmente mediante la relación de u.n de grupos musculares evaluados entre ambos deportistas (**Figura 3c**). Así, el deportista 2 quien aumentó principalmente el Vc presenta una mayor relación u.n que el deportista 1 quien aumentó principalmente la Fr. Con esta información se puede inferir que el aumento de la Fr conlleva mayor desoxigenación de *m.intercostales* (mayor WOB) que el aumento de Vc hasta VT2, lo que se revierte en condición de máximo esfuerzo ($\dot{V}O_2$ -máx.).

Discusión

En este estudio reportamos los cambios de la SmO_2 -*m.intercostales*, como reflejo del WOB, y las variables ventilatorias ($\dot{V}E$, Fr, Vc) en dos corredores de maratón con similares características antropométricas (peso, talla, IMC) y rendimiento físico ($\dot{V}O_2$ -máx) durante la prueba de $\dot{V}O_2$ -máx. A su vez, reportamos

la SmO_2 -*m.vastus laterallis* como reflejo del trabajo locomotor propio del gesto deportivo o carga periférica. Nuestro principal resultado es que en ambos deportistas disminuyó la SmO_2 -*m.intercostales* un 30% y la SmO_2 -*m.vastus laterallis* un 46% (ΔSmO_2 (Reposo-Máximo)). Al analizar las fases se observó que la SmO_2 -*m.intercostales* en el deportista 1 disminuyó durante toda la prueba, manteniendo la THb constante. En relación al deportista 2, la SmO_2 -*m.intercostales* aumentó hasta VT2 y posteriormente disminuyó abruptamente, manteniendo la THb sin cambios en las fases. La SmO_2 -*m.vastus laterallis* disminuyó progresivamente en ambos deportistas, sin cambios en la THb, lo que es proporcional a la mayor carga periférica durante la prueba de $\dot{V}O_2$ -máx.

Respecto a la oxigenación de musculatura respiratoria, los cambios registrados en el deportista 1 concuerdan con lo expuesto por Vogiatzis, *et al.* (17), quien reportó en diez ciclistas competitivos una disminución progresiva durante una prueba incremental. Lo anterior difiere a los resultados del deportista 2, donde posterior a VT2 recién comenzó a aparecer este fenómeno, coincidiendo con el aumento exponencial de la $\dot{V}E$. Lo interesante es que ambos mostraron diferentes estrategias ventilatorias durante la prueba, siendo este uno de los factores que puede tener un impacto en los cambios del WOB. En la literatura se ha reportado que la respuesta ventilatoria está condicionada inicialmente por el Vc hasta alcanzar el 50-60% de la capacidad vital, siendo una estrategia eficiente y sólo limitada por la distensibilidad pulmonar (11). En intensidades mayores, el incremento de la $\dot{V}E$ se logra necesariamente por aumentos en la Fr, lo que tiene un mayor impacto en el WOB. El mayor costo

Oxigenación en músculos respiratorios y locomotores durante el ejercicio máximo en dos corredores de maratón

energético asociado al aumento prematuro de la Fr, podría en un futuro asociarse a los mayores cambios en la $SmO_2-m.intercostales$, que se reflejaría en un WOB considerablemente mayor. Lo anterior se evidencia en nuestros resultados, donde el deportista 1 aumentó 1.4 veces más su Fr respecto al reposo en comparación al deportista 2, quien aumentó 1.9 veces su Fr respecto al reposo en VT2, el cual representa el punto de disminución abrupta de la $SmO_2-m.intercostales$.

La relación entre unidades normalizadas de ambos grupos musculares (Figura 3c) permite visualizar el efecto de la estrategia ventilatoria sobre el trabajo de ambos grupos musculares, así hasta VT2 el deportista que aumentó principalmente el Vc muestra mayor relación u.n que aquel que aumentó la Fr. Posterior a VT2, esta diferencia desaparece ya que el ejercicio a intensidades elevadas se mantiene principalmente por aumentos en Fr (11). Esto es muy relevante, pues en pruebas de larga distancia como la maratón los deportistas realizan la prueba a intensidad cercana o levemente por debajo de VT2, evitando aumentar la intensidad a pesar de una presentar una “buena sensación de ejercicio”, pues reconocen que de hacerlo el sustrato energético puede verse limitado durante la extensión temporal en la cual desean finalizar la competencia. Así, se puede inferir que si un deportista adopta como estrategia ventilatoria el aumento de Vc en vez de Fr para mantener valores elevados de $\dot{V}E$ podría ser lo adecuado pues el WOB realizado, reflejado en menor desoxigenación en $m.intercostales$, no debiese disminuir el Q en músculos locomotores, reflejado en mayor desoxigenación de $m.vastus laterallis$, lo que podría evitar la aparición del reflejo

metabólico y con ello limitar el rendimiento deportivo.

Este hallazgo es relevante para los entrenadores, pues fundamenta la incorporación de entrenamiento en musculatura respiratoria centrada en volumen (ej. hiperpnea isocápnica voluntaria (SpiroTiger™)), para así optimizar la estrategia ventilatoria durante el ejercicio físico, incrementando la capacidad vital y evitando aumentos en Fr, excepto en condiciones máximas, y con ello hacer más eficiente el WOB asociado al esfuerzo físico (18). En nuestra opinión esta estrategia ofrece beneficios, optimizando la extracción de oxígeno de la musculatura intercostal, mejorando el flujo sanguíneo local y probablemente permitiendo mejor rendimiento en pruebas de largas distancias donde la eficiencia del sistema respiratorio puede influir en la fatiga y el rendimiento físico final. Sin embargo, dado el alcance limitado de nuestros resultados y a las características descriptivas de nuestro estudio, sugerimos la realización de nuevas investigaciones con mayor número de participantes, para conocer si este fenómeno es replicable en una mayor cantidad de atletas y disciplinas deportivas. Además, es importante evaluar a deportistas de sexo femenino debido a que se han reportado diferencias en la mecánica respiratoria entre sexo (6), lo que podría relacionarse a mayor WOB en ejercicio.

Conclusión

En este estudio concluimos que dos corredores de maratón con similares características antropométricas (peso, talla, IMC) y rendimiento físico ($\dot{V}O_{2-máx}$), presentan similar aumento del WOB, pero diferentes cambios en las distintas fases de evaluación (reposo VT1, VT2, y $\dot{V}O_{2-máx}$). Esto puede ser explicado por las diferentes

Oxigenación en músculos respiratorios y locomotores durante el ejercicio máximo en dos corredores de maratón

estrategias de los deportistas para aumentar la $\dot{V}E$ (frecuencia respiratoria (Fr) y/o volumen corriente (Vc)). Este hallazgo sugiere la incorporación de entrenamiento en musculatura respiratoria centrada en el Vc, evitando aumentos en Fr durante el esfuerzo físico aeróbico, y con ello hacer más eficiente el WOB asociado al esfuerzo físico. Es necesario realizar más investigaciones que demuestren estos resultados y permitan

extrapolar este fenómeno en otras disciplinas deportivas.

Agradecimientos

Al Sr. Eduardo Moya por la asistencia en las mediciones realizadas en el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio.

Conflicto de interés

Los autores declaran no presentar conflicto de interés.

Referencias

1. Saltin B, Astrand PO. Maximal oxygen uptake in athletes. *J Appl Physiol*. 1967;23(3):353–8.
2. Longo AF, Aquilino GD, Cardey ML, Lentini NA. VO2 max assessment in athletes : A thorough method comparison study between Yo-Yo test and direct measurement. *Apunts*. 2017;52(193):17–22.
3. Dominelli PB, Archiza B, Ramsook AH, Mitchell RA, Peters CM, Molgat-seon Y, et al. Effects of respiratory muscle work on respiratory and locomotor blood flow during exercise. *Exp Physiol*. 2017;11:1535–47.
4. Guenette JA, Sheel AW. Physiological consequences of a high work of breathing during heavy exercise in humans. *J Sci Med Sport*. 2007;10(6):341–50.
5. Vella CA, Marks D, Robergs RA. Oxygen cost of ventilation during incremental exercise to VO 2 max. *Respirology*. 2006;11(2):175–81.
6. Aaron EA, Johnson BD, Seow CK, Dempsey JA. Oxygen cost of exercise hyperpnea: Measurement. *J Appl Physiol*. 1992;72(5):1810–7.
7. Dempsey JA, Romer L, Rodman J, Miller J, Smith C. Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respir Physiol Neurobiol*. 2006;151(2–3):242–50.
8. Power GA, Handrigan GA, Basset FA. Ventilatory response during an incremental exercise test: A mode of testing effect. *Eur J Sport Sci*. 2012;12(6):491–8.
9. Guenette JA, Querido JS, Eves ND, Chua R, William Sheel A. Sex differences in the resistive and elastic work of breathing during exercise in endurance-trained athletes. *Am J Physiol - Regul Integr Comp Physiol*. 2009;297(1):166–75.
10. Reinhard PA, Gerson EAM, Sheel AW, Archiza B. Quantifying the mechanical work of breathing in men and women during rowing. *Eur J Appl Physiol*. 2020;120(2):381–90.
11. Sheel AW, Romer LM. Ventilation and Respiratory Mechanics. *Comprehensive Physiology*. 2012;2(April):1093–142.
12. Contreras-Briceño F, Espinosa-Ramirez M, Llambias D, Carrasco M, Cerda F, López- A, et al. Reliability of NIRS portable device for measuring intercostal muscles oxygenation during exercise. *J Sports Sci*. 2019;37(23):2653–9.
13. Harriss D., Macsween A, Atkinson G. Standards for Ethics in Sport and Exercise Science Research. *Int J Sports Med*. 2017;38(14):1126–31.
14. Taylor H, Buskirk E, Henschel A. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *J Appl Physiol*. 1955;8(1):73–80.
15. Mezzani A, Hamm LF, Jones AM, McBride PE, Moholdt T, Stone JA, et al. Aerobic exercise intensity assessment and prescription in cardiac rehabilitation: A joint position statement of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation, the American Association of

Oxigenación en músculos respiratorios y locomotores durante el ejercicio máximo en dos corredores de maratón

- Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitat. Eur J Prev Cardiol. 2013;20(3):442–67.
16. Seiler KS, Kjerland GØ. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an “optimal” distribution? Scand J Med Sci Sport. 2006;16(1):49–56.
 17. Vogiatzis I, Athanasopoulos D, Habazettl H, Kuebler WM, Wagner H, Roussos C, et al. Intercostal muscle blood flow limitation in athletes during maximal exercise. J Physiol. 2009;587(14):3665–77.
 18. Boone J, Barstow TJ, Celie B, Prieur F, Bourgois J. The interrelationship between muscle oxygenation, muscle activation, and pulmonary oxygen uptake to incremental ramp exercise: influence of aerobic fitness. Appl Physiol Nutr Metab. 2016;41(1):55–62.