

Article

Oxigenación Muscular, Frecuencia Cardíaca y Concentración de Lactato en Sangre durante la Natación a Intervalos Submáximos y Máximos

Athanasios A. Dalamitros¹, Eleni Semaltianou¹, Argyris G. Toubekis² y Athanasios Kabasakalis¹¹Laboratory of Evaluation of Human Biological Performance, School of Physical Education and Sport Sciences, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece²School of Physical Education and Sport Science, National and Kapodistrian University of Athens, Athens, Greece

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo determinar la relación entre tres procedimientos de prueba durante diferentes esfuerzos de intervalos de intensidad en natación. Doce nadadores de nivel nacional de ambos sexos ejecutaron, en diferentes ocasiones y tras un calentamiento estandarizado, un protocolo de nado consistente en un intervalo submáximo (Submáx: 8 esfuerzos de 50 m) o máximo (Máx: 4 esfuerzos de 15 m), seguido de dos series de 4 esfuerzos máximos de 25 m. La espectroscopia de infrarrojo cercano en términos de saturación de oxígeno muscular (SmO₂), la frecuencia cardíaca (FC) y la concentración de lactato en sangre (BLa) se analizó en tres puntos de la prueba: después del protocolo Submáx o Máx (TP1), después del primer 4 × 25 m (TP2), y después de la 2ª serie máxima de 4 × 25 m (TP3). La BLa y la FC mostraron cambios significativos durante todos los puntos de la prueba en ambos protocolos ($P \leq 0.01$; rango de ES: 0.45-1.40). La SmO₂ fue diferente sólo entre TP1 y TP3 en ambos protocolos ($P \leq 0.05-0.01$; rango ES: 0.36-1.20). Se obtuvo una gran correlación durante el protocolo Máx entre SmO₂ y FC ($r: 0.931$; $P \leq 0.01$), y también entre SmO₂ y BLa en TP1 ($r: 0.722$; $P \leq 0.05$). Se reveló un rango de correlaciones moderadas a grandes para SmO₂/FC y BLa/FC para TP2 y TP3 después de ejecutar ambos protocolos (rango $r: 0.595-0.728$; $P \leq 0.05$). LA SmO₂ es un parámetro novedoso que se puede utilizar cuando se busca una evaluación integral de las respuestas agudas de nadadores competitivos en la natación a intervalos de velocidad, junto con la FC y la BLa.

INTRODUCCIÓN

El seguimiento de la intensidad del entrenamiento es esencial para evaluar la respuesta de los atletas a un programa de ejercicio. Una herramienta de prueba utilizada a menudo en entornos deportivos como marcador de intensidad es la concentración de lactato en sangre (BLa) debido a su sensibilidad para detectar cambios inducidos por el entrenamiento (Beneke y cols., 2011). A pesar de varias limitaciones potenciales, incluida su naturaleza invasiva (Swart y Jennings, 2004), la prueba de BLa se ha utilizado ampliamente en la natación para evaluar el estado de rendimiento real y predecir potencialmente los resultados de rendimiento a futuro (Smith y cols., 2002). Complementariamente a las pruebas de BLa, el porcentaje de frecuencia cardíaca máxima (FC) también hace una contribución importante para evaluar la intensidad del entrenamiento (Borresen y Lambert, 2008), aunque se caracteriza por ser poco informativo sobre el estado de

entrenamiento de un atleta (Buchheit, 2014). Además, la velocidad crítica puede usarse como un enfoque factible y práctico para monitorear la intensidad del entrenamiento de natación (Tijani y cols., 2021).

La espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) es una técnica relativamente nueva con una popularidad creciente debido al hecho de que permite medir de forma no invasiva y directa los cambios en la oxigenación tisular y la hemodinámica como respuesta al ejercicio dinámico (Bhambhani, 2004). Recientemente, esta tecnología se ha aplicado en la natación como un método complementario para monitorear las adaptaciones periféricas al entrenamiento, para examinar las respuestas agudas al entrenamiento en atletas de diferentes niveles competitivos y para evaluar diferentes protocolos de recuperación activa (Jones y cols., 2018; Dalamitros y cols., 2019; Pratama y Yimlamai, 2020). Además, la NIRS ha sido examinada como una alternativa potencial a la medición de la BLA en nadadores de diferentes niveles de entrenamiento (Wu y cols., 2015). Sin embargo, en este último caso, el procedimiento de prueba incluyó una prueba incremental en tierra firme.

En el entrenamiento de la natación, se incorporan diariamente series de intervalos de varias intensidades para activar procesos aeróbicos o anaeróbicos. Como tal, explorar la relación potencial de los diferentes procedimientos de prueba utilizados para evaluar la intensidad del entrenamiento, es decir, la oxigenación muscular, la FC y la BLA durante los esfuerzos submáximos y máximos, podría ser importante tanto para los entrenadores de natación como para los científicos del deporte. Además, dado que se ha informado que los protocolos de entrada en calor de diferentes intensidades inducen diferentes respuestas de la BLA pero no de la FC en una prueba subsecuente contrarreloj máxima de 100 m (Neiva y cols., 2017), sería interesante si tales resultados se examinaran utilizando pruebas de oxigenación muscular. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue evaluar y comparar la interrelación entre la oxigenación muscular (SmO_2), la FC y la BLA después de un protocolo de intervalos de natación submáximos (Submáx) o máximos (Máx), y una serie principal de intervalos máximos subsecuentes.

Materiales y métodos

Sujetos

Un total de doce nadadores de nivel nacional, nueve hombres ($n = 9$; edad: 21.9 ± 2.0 años; masa corporal: 78.8 ± 9.8 kg; altura corporal: 182.7 ± 8.1 cm; puntuación FINA 2019: $578,4 \pm 89,0$) y tres mujeres ($n = 3$; edad: $20,2 \pm 1,5$ años; peso: $64,5 \pm 6,7$ kg; altura: $174,3 \pm 3,5$ cm; puntuación *score* FINA 2019: 638.7 ± 23.0), de dos clubes de natación diferentes participaron en este estudio. Los nadadores se especializaban en diferentes distancias de carrera y técnicas de natación. El cálculo de la puntuación de la *Fédération Internationale de Natation* (FINA) se basó en el evento de especialidad de cada atleta según los récords mundiales de 2019 en cursos cortos. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de cada participante. Todos los procedimientos se realizaron de acuerdo con la declaración de Helsinki y fueron aprobados por la Junta de Revisión Institucional.

Metodología

Los sujetos participaron en dos sesiones de prueba. Durante la primera sesión, se registraron las características antropométricas (altura y masa corporal) y de entrenamiento (especialidad de distancia, técnica de nado preferida y mejores tiempos de natación). Después de completar un calentamiento estandarizado en el agua que consta de 1200 m (nado continuo/ejercicios de brazos y patadas/sprints cortos/vuelta a la calma) seguido de un descanso pasivo de 2 minutos, los participantes realizaron aleatoriamente el protocolo de natación a intervalos Submáx o Máx, en un orden contrabalanceado. Tres días después, se aplicó el segundo protocolo. La serie de intervalos submáx consistió en 8×50 m interceptados con un descanso pasivo de 30 seg, a una intensidad correspondiente a la velocidad crítica, que se calculó en un 92% del mejor rendimiento durante una prueba máxima de 400 m (Zacca y cols., 2016) realizada la semana anterior al inicio del estudio. Durante el protocolo de intervalo Máx, los nadadores realizaron una serie de 4×15 m comenzando en 1 min. Siguiendo los protocolos de intervalo Submáx y Máx, los participantes ejecutaron la serie principal de intervalos que constaba de $2 \times 4 \times 25$ m a máxima intensidad con un descanso pasivo de 30 seg entre cada 25 m y 4 min entre las series.

La medición de la saturación del oxígeno muscular (SmO_2) se realizó con un dispositivo portátil de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) (MOXY, Fortiori Design LLC, Hutchinson, Minnesota, EE. UU.). La SmO_2 del músculo deltoides del brazo dominante de cada participante se midió en posición sentada, con los brazos del nadador colgando libremente a los lados y completamente relajados. El dispositivo se colocó en el medio del vientre del músculo, mientras que la posición exacta se señaló con un marcador permanente para colocar el monitor en el mismo lugar para cada medición. Todos los atletas presentaron un pliegue cutáneo inferior al límite aceptado de 12 mm en el punto de medición (Barstow, 2019). Se registró la SmO_2 del músculo relajado durante 1 min en reposo y se analizaron los valores promedio. Los registros posteriores de las mediciones de la SmO_2 se realizaron durante el primer minuto posterior al ejercicio, lo que les dio a los atletas el tiempo adecuado para salir del agua en tres puntos de prueba específicos: después de los protocolos Submáx o Máx, (TP1), después de la primera serie de 4×25 , (TP2), y después del segundo bloque de 4×25 (TP3). Simultáneamente,

durante todas las pruebas, se registró la frecuencia cardíaca mediante telemetría de cinturón pectoral (Polar S810 Electro, Kempele, Finlandia). Para medir la BLa se utilizó un analizador portátil (Lactate Scout 4, EKF Diagnostics, Alemania). La BLa se recolectó en el segundo minuto posterior al ejercicio. Las mediciones de la SmO₂ y la BLa fueron realizadas por dos examinadores experimentados en las mismas condiciones. El procedimiento de prueba se resume en la Figura 1.

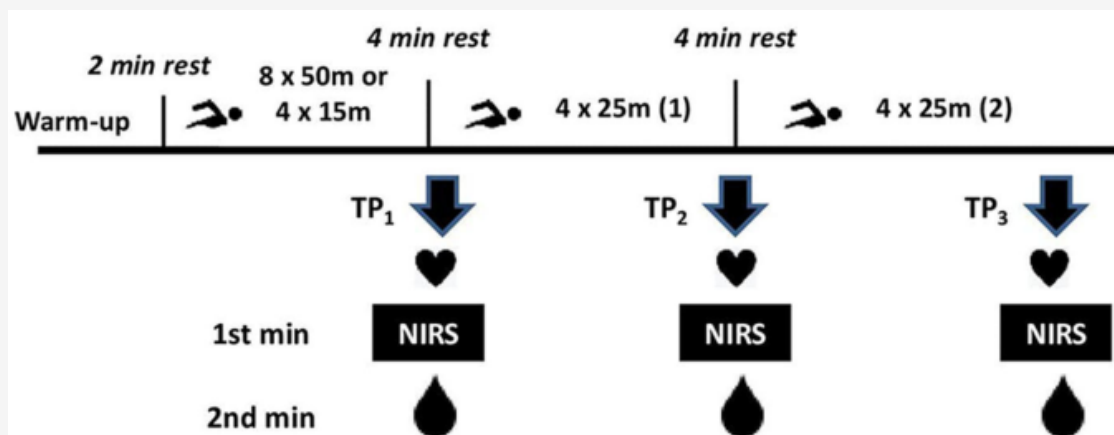


Figura 1. Representaciones esquemáticas del procedimiento de prueba. TP1 = punto de prueba 1; TP2 = punto de prueba 2; TP3 = punto de prueba 3.

Todas las pruebas de nado se realizaron con una salida de impulso desde dentro del agua con la técnica de crol frontal. Se instruyó a los nadadores para que evitaran deslizarse bajo el agua. Todos los procedimientos se realizaron durante el mismo período de entrenamiento (diciembre) y durante el día (8:00:00-9:30:00 hs), bajo la misma temperatura del agua (26-27°C) en una piscina cubierta de 25 m. Se aconsejó a los nadadores que siguieran la misma rutina de entrenamiento, así como la misma dieta, hidratación y hábitos de sueño el día anterior a la prueba.

Análisis estadístico

Se realizaron la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, el análisis de correlación de Pearson y el análisis de varianza (ANOVA) con medidas repetidas. Los datos de la SmO₂, BLa y FC se analizaron mediante ANOVA de dos vías (protocolo: Submáx y Máx × tiempo: TP1, TP2 y TP3) con medidas repetidas en el factor de tiempo. Los análisis *post-hoc* se realizaron utilizando la prueba de Scheffé. Los umbrales de correlación se clasificaron como: <0.1 = trivial, <0.3 = pequeño, <0.5 = moderado, <0.7 = grande, <0.9 = muy grande y ≤1.0 = casi perfecto (Hopkins y cols., 2009). Los valores de tamaño del efecto (ES) de ≤0.2, entre 0.21 y 0.8 y >0.8 se consideraron pequeños, moderados y grandes, respectivamente (Cohen, 1988). El nivel de significación estadística se fijó en $p \leq 0.05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software SPSS 25.0 (IBM, NY, EE. UU.). Los datos se presentan como media ± desviación estándar (SD).

Resultados

No se encontró efecto del protocolo ($p = 0.198$) en ninguno de los parámetros medidos. Por el contrario, se reveló un efecto principal significativo del tiempo ($p < 0.001$). La FC y la BLa aumentaron entre los tres puntos de prueba en ambos protocolos ($p < 0.05$; $p < 0.001$, rango de ES: 0.36-1.40). Los valores de SmO₂ sólo fueron diferentes entre TP1 y TP3 ($p < 0.05$ y 0.001; ES: 1.09 y 1.20, para los protocolos Submáx y Máx, respectivamente), pero no entre TP1 y TP2 o TP2 y TP3 después de ambos protocolos ($p > 0.05$) (Tabla 1).

Tabla 1. Significancia estadística, tamaño del efecto, saturación de oxígeno muscular, frecuencia cardíaca y valores de lactato en sangre en todos los puntos de prueba durante ambos protocolos.

Protocol	Variables	TP ₁	TP ₂	TP ₃	P	ES
Submax	SmO ₂ (%)	59.4 ± 9.1	52.2 ± 10.6	48.3 ± 11.2	0.046 ^a	0.36–1.09
	HR (b·min ⁻¹)	154 ± 19.7	170 ± 8.8	174 ± 8.9	0.003 ^{a,b}	0.45–1.40
	BLa (mmol·L ⁻¹)	3.5 ± 1.4	8.4 ± 2.5	11.8 ± 3.0	0.000 ^{c,d,e}	0.52–1.24
Max	SmO ₂ (%)	57.0 ± 6.4	47.8 ± 9.0	37.8 ± 11.4	0.001 ^c	1.19–1.20
	HR (b·min ⁻¹)	145 ± 14.2	167 ± 11.0	172 ± 6.4	0.000 ^{c,d,e}	0.57–0.22
	BLa (mmol·L ⁻¹)	4.4 ± 1.5	9.5 ± 2.6	12.7 ± 2.9	0.000 ^{c,d,e}	0.49–1.16

Submax protocol: 8 × 50 m; Max protocol: 4 × 15 m; TP₁, Testing point after the 8 × 50 m or the 4 × 15 m; TP₂, Testing point after the 1st 4 × 25 m; TP₃, Testing point after the 2nd 4 × 25 m; SmO₂, muscle oxygenation; BLa, blood lactate concentration; HR, heart rate; ^aTP₁ significantly different from TP₃ (p < 0.05); ^bTP₁ significantly different from TP₂ (p < 0.05); ^cTP₁ significantly different from TP₃ (p < 0.001); ^dTP₁ significantly different from TP₂ (p < 0.001); ^eTP₂ significantly different from TP₃ (p < 0.001).

Los valores de saturación de oxígeno muscular (SmO₂) y de la BLa estuvieron altamente correlacionados en TP₁ durante el protocolo Máx (r = 0.722; p < 0.05), mientras que se encontraron correlaciones moderadas en TP₂ y TP₃ (r = 0.488 y 0.498; p > 0.05). La FC y la SmO₂ mostraron un rango de magnitudes de correlación de moderada a alta durante los tres puntos de prueba en ambos protocolos (rango r: 0.645-0.728; p < 0.01), mientras que se obtuvo una correlación muy alta en TP₁ después del protocolo Máx (r = 0.931; p < 0.01). De manera similar, el coeficiente de correlación de la BLa y la FC también fue de moderado a alto en todos los puntos de prueba en ambos protocolos (rango r: 0.595-0.694; p < 0.05). Finalmente, se observaron pequeñas correlaciones entre la SmO₂ y la BLa durante el protocolo Submáx en todos los puntos de prueba (rango r: 0.147-0.285; p > 0.05) (Tabla 2).

Tabla 2. Magnitudes de correlación de Pearson entre los diferentes procedimientos de prueba en todos los puntos de prueba durante ambos protocolos.

Submax protocol								
	TP ₁		TP ₂		TP ₃			
	BLa	HR	BLa	HR	BLa	HR		
SmO ₂	0.147	0.683*	SmO ₂	0.202	0.695*	SmO ₂	0.285	0.645*
BLa		0.595*	BLa		0.660*	BLa		0.679*
Max protocol								
	TP ₁		TP ₂		TP ₃			
	BLa	HR	BLa	HR	BLa	HR		
SmO ₂	0.722*	0.931**	SmO ₂	0.488	0.723*	SmO ₂	0.498	0.728*
BLa		0.694*	BLa		0.694*	BLa		0.622*

Submax protocol: 8 × 50 m; Max protocol: 4 × 15 m; TP₁: Testing point after the 8 × 50 m or the 4 × 15 m; TP₂, Testing point after the 1st 4 × 25 m; TP₃, Testing point after the 2nd 4 × 25 m; SmO₂, muscle oxygenation; BLa, blood lactate concentration; HR, heart rate. *p < 0.05; **p < 0.01.

Discusión

La aplicación de la tecnología de espectroscopia de infrarrojo cercano portátil en el área del rendimiento deportivo está aumentando progresivamente. El presente estudio demostró que la variable de oxigenación muscular evaluada (SmO₂) se correlacionó principalmente con los valores de BLa y FC después del protocolo Máx. Es decir, inmediatamente después de completar una serie de intervalos de sprint de muy bajo volumen (4 × 15 m, duración de 7–8 seg).

Se ha descrito previamente una correlación significativa entre los valores de SmO₂ y de BLa en nadadores durante pruebas incrementales realizadas en tierra firme. En este caso, se sugirió la aplicación de la tecnología NIRS como una alternativa no invasiva a la prueba de BLa (Wu y cols., 2015). La novedad de nuestro estudio es que, por primera vez, se examinó esta interrelación durante esfuerzos interválicos basados en el metabolismo anaeróbico y aeróbico que se aplican habitualmente en el entrenamiento de la natación.

Comprender la fisiología muscular durante el ejercicio dinámico es esencial para evaluar la intensidad del ejercicio. Los valores de la SmO₂ del músculo deltoides durante la nado de crol proporcionaron una representación clara del equilibrio

entre el suministro y la extracción de O₂ de la parte del cuerpo que funciona principalmente durante la propulsión horizontal (Morouço y cols., 2015). La BLa, por su parte, es sensible a los cambios en la intensidad y la duración del ejercicio (Beneke y cols., 2011). Por otro lado, la acumulación de datos en tiempo real a través de la NIRS es una herramienta de evaluación útil durante los esfuerzos de entrenamiento (Jones y cols., 2018). Por lo tanto, la combinación de los dos procedimientos de prueba puede resultar beneficiosa para evaluar de manera precisa y exhaustiva la intensidad durante la natación. En el presente estudio, la oxigenación muscular se redujo progresiva e independientemente de la intensidad del ejercicio de 'priming' (protocolos Submáx o Máx). Sin embargo, una limitación del presente estudio puede ser reconocida por la medición NIRS posterior a la natación. Esto se aplicó para evitar cualquier movimiento del aparato sobre el músculo durante los movimientos rápidos del brazo. Se espera que los valores de un minuto después de nadar sean más altos en comparación con los valores durante la natación. En este caso, los valores de la tasa de natación y recuperación pueden ser diferentes entre los protocolos, pero esto no se detectó con un sólo muestreo de recuperación, lo que afectó la correlación entre la SmO₂ con la BLa y la FC. Por otro lado, recopilar valores de recuperación hace que la medición sea más práctica y factible de usar durante el entrenamiento.

Los entrenadores de natación y los científicos deportivos suelen aplicar pruebas de campo durante el entrenamiento y la competición. En este sentido, las mediciones de BLa y HR sirven como procedimientos de prueba fisiológica "estándar". Reconociendo que se han mostrado diferentes respuestas, especialmente en esfuerzos de entrenamiento intenso, durante las pruebas de BLa y HR en natación (Skorski y cols., 2012), su uso en combinación con la medición de espectroscopia de infrarrojo cercano se puede realizar como una forma alternativa o complementaria. método, dependiendo de la intensidad del ejercicio realizado. Además, potencialmente puede ofrecer un análisis no invasivo de los cambios dinámicos en la oxigenación y el volumen sanguíneo, detectar la contribución relativa de los músculos y evaluar las adaptaciones inducidas por el entrenamiento después del entrenamiento de resistencia (Jones y Cooper, 2016; Jones y cols., 2018). Futuros estudios deberían considerar esta relación en distancias de nado de mayor duración.

La interpretación y traducción práctica de los datos recopilados del dispositivo portátil NIRS es probablemente el mayor desafío cuando se aplica este tipo de tecnología. La información sobre los niveles de oxígeno del músculo esquelético puede aumentar la comprensión de la carga interna de los músculos activos y menos activos, como es evidente en el caso de dos o más monitores involucrados durante los períodos de entrenamiento y de recuperación (Manchado-Gobatto y cols., 2020). Además, los altos valores de desoxigenación muscular, como los obtenidos durante las series de intervalos de sprint, pueden estar relacionados con mayores adaptaciones periféricas (Paquette y cols., 2019) o incluso pueden caracterizar el estado de entrenamiento entre los individuos (Ding y cols., 2001). En general, el método NIRS se presenta como una solución adecuada para la evaluación de campo rápida y continua en una variedad de deportes, evaluando así las adaptaciones agudas y crónicas, mientras se caracteriza por una alta sensibilidad en diferentes demandas de ejercicio y buenos valores de reproductibilidad (Perrey y Ferrari, 2018). Aún así, la estandarización del protocolo es vital considerando las limitaciones existentes, como el impacto del grosor del tejido adiposo y la necesidad de una calibración fisiológica adecuada (McManus y cols., 2018; Barstow, 2019).

La aplicación de la tecnología NIRS para monitorear las respuestas de la oxigenación muscular en este estudio (monitor MOXY) se ha utilizado recientemente en diferentes actividades deportivas, incluido el kayak de velocidad, la escalada deportiva y el esquí de fondo. En general, estos estudios destacaron el potencial de esta herramienta de investigación para proporcionar información sobre las adaptaciones periféricas después del entrenamiento de intervalos de alta intensidad (Paquette y cols., 2019, 2021), la disponibilidad de la SmO₂ en diferentes intensidades de ejercicio (Feldmann y cols., 2020), y la activación muscular de los grupos musculares superiores e inferiores durante una carrera de larga distancia (Stöggl y Born, 2021). En este estudio, la implementación de una serie de intensidad máxima de bajo volumen (2 × 4 × 25 m) fue impulsada por hallazgos previos que indicaban aumentos significativos de la BLa con un estímulo de entrenamiento similar (Kabasakalis y cols., 2020), mientras que el resto de los intervalos se guiaron por la necesidad de realizar las mediciones. Los protocolos Submáx y Máx específicos aplicados se eligieron basándose en la estimulación de diferentes sistemas de energía metabólica. De acuerdo con un estudio previo de natación que analizó las respuestas de diferentes intensidades de calentamiento en los niveles de la BLa y de la FC (Neiva y cols., 2017), tanto los protocolos Submáx como Máx concluyeron que no hubo variaciones significativas en los valores respectivos en ninguna de los tres puntos de la prueba. Por lo tanto, se puede sugerir que las pruebas fisiológicas durante el rendimiento máximo en intervalos cortos no se ven afectadas por los protocolos de "preactivación" anteriores.

En conclusión, después de que los protocolos de natación máxima consistieran en esfuerzos muy cortos (es decir, 15 m) e intervalos cortos (es decir, 25 m), se observó una alta interrelación entre los valores de oxigenación muscular expresados por la saturación de oxígeno muscular, la frecuencia cardíaca y las pruebas de lactato en sangre que fueron revelados en comparación con los obtenidos después de un protocolo idéntico donde inicialmente se aplicaron esfuerzos de intervalo de menor intensidad.

Declaración de Ética

Los estudios con participantes humanos fueron revisados y aprobados por Vasilis Mougios, Universidad Aristóteles de

Salónica, Departamento de Educación Física y Ciencias del Deporte; Evangelia Kouidi, de la Universidad Aristóteles de Tesalónica, Departamento de Educación Física y Ciencias del Deporte; Giorgos Grouios, de la Universidad Aristóteles de Tesalónica, Departamento de Educación Física y Ciencias del Deporte. Los pacientes/participantes proporcionaron su consentimiento informado por escrito para participar en este estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

Agradecimientos

Agradecemos la participación de los nadadores.

REFERENCIAS

1. Barstow, T. J. (2019). Understanding near infrared spectroscopy and its application to skeletal muscle research. *J. Appl. Physiol.* 126, 1360-1376.
2. Beneke, R., Leithauser, R. M., and Ochentel, O. (2011). Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 6, 8-24.
3. Bhambhani, Y. N. (2004). Muscle oxygenation trends during dynamic exercise measured by near infrared spectroscopy. *Can. J. Appl. Physiol.* 29, 504-523.
4. Borresen, J., and Lambert, M. I. (2008). Quantifying training load: a comparison of subjective and objective methods. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 3, 16-30.
5. Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Front. Physiol.* 5:73.
6. Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd edn. New York, NY: Lawrence Erlbaum Associates.
7. Dalamitros, A. A., Mavridis, G., Semaltianou, E., Loupos, D., and Manou, V. (2019). Psychophysiological and performance-related responses of a potentiation activity in swimmers of different competitive levels. *Physiol. Behav.* 204, 106-111.
8. Ding, H., Wang, G., Lei, W., Wang, R., Huang, L., Xia, Q., et al. (2001). Non-invasive quantitative assessment of oxidative metabolism in quadriceps muscles by near infrared spectroscopy. *Br. J. Sports Med.* 35, 441-444.
9. Feldmann, A. M., Erlacher, D., Pfister, S., and Lehmann, R. (2020). Muscle oxygen dynamics in elite climbers during finger-hang tests at varying intensities. *Sci. Rep.* 10:3040.
10. Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., and Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41, 3-12.
11. Jones, B., and Cooper, C. E. (2016). Underwater near-infrared spectroscopy: muscle oxygen changes in the upper and lower extremities in club level swimmers and triathletes. *Adv. Exp. Med. Biol.* 876, 35-40.
12. Jones, B., Parry, D., and Cooper, C. E. (2018). Underwater near-infrared spectroscopy can measure training adaptations in adolescent swimmers. *PeerJ* 6:e4393.
13. Kabasakalis, A., Nikolaidis, S., Tsalis, G., and Mougios, V. (2020). Response of blood biomarkers to sprint interval swimming. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 22, 1442-1447.
14. Machado-Gobatto, F. B., Marostegan, A. B., Rasteiro, F. M., Cirino, C., Cruz, J. P., Moreno, M. A., et al. (2020). New insights into mechanical, metabolic and muscle oxygenation signals during and after high-intensity tethered running. *Sci. Rep.* 10:6336.
15. McManus, C. J., Collison, J., and Cooper, C. E. (2018). Performance comparison of the MOXY and PortaMon near-infrared spectroscopy muscle oximeters at rest and during exercise. *J. Biomed. Opt.* 23, 1-14.
16. Morouço, P. G., Marinho, D. A., Izquierdo, M., Neiva, H., and Marques, M. C. (2015). Relative contribution of arms and legs in 30 s fully tethered front crawl swimming. *J. Biomed. Biotechnol.* 563206, 1-6.
17. Neiva, H. P., Marques, M. C., Barbosa, T. M., Izquierdo, M., Viana, J. L., Teixeira, A. M., et al. (2017). Warm-up for sprint swimming: race-pace or aerobic stimulation? A randomized study. *J. Strength Cond. Res.* 31, 2423-2431.
18. Paquette, M., Bieuzen, F., and Billaut, F. (2019). Sustained muscle deoxygenation vs. sustained high VO₂ during high-intensity interval training in sprint canoe-kayak. *Front. Sports Act. Living.* 1:6.
19. Paquette, M., Bieuzen, F., and Billaut, F. (2021). The effect of HIIT vs. SIT on muscle oxygenation in trained sprint kayakers. *Eur. J. Appl. Physiol.* 121, 2743-2759.
20. Perrey, S., and Ferrari, M. (2018). Muscle oximetry in sports science: a systematic review. *Sports Med.* 48, 597-616.
21. Pratama, A. B., and Yimlamai, T. (2020). Effects of active and passive recovery on muscle oxygenation and swimming performance. *Int J. Sports Physiol. Perform.* 15, 1289-1296.
22. Skorski, S., Faude, O., Urhausen, A., Kindermann, W., and Meyer, T. (2012). Intensity control in swim training by means of the individual anaerobic threshold. *J. Strength Cond. Res.* 26, 3304-3311.
23. Smith, D. J., Norris, S. R., and Hogg, J. M. (2002). Performance evaluation of swimmers: scientific tools. *Sports Med.* 32, 539-554.
24. Stöggl, T., and Born, D.-P. (2021). Near infrared spectroscopy for muscle specific analysis of intensity and fatigue during cross-country skiing competition—a case report. *Sensors* 21:2535.
25. Swart, J., and Jennings, C. L. (2004). Use of blood lactate concentration as a marker of training status. *S. Afr. J. Sports. Med.* 16, 1-5.

26. Tijani, J. M., Rhibi, F., Zouhal, H., Dalamitros, A. A., and Ben Abderrahman, A. (2021). Effect of training at intensities around critical velocity on 400 meters front crawl performance in young swimmers. *J. Sports Med. Phys. Fitness*.
27. Wu, Y., Song, T., and Xu, G. (2015). Changes of muscle oxygenation and blood lactate concentration of swimming athletes during graded incremental exercise. *Front. Optoelectron.* 8, 451-455.
28. Zacca, R., Fernandes, R. J., Pyne, D. B., and Castro, F. A. (2016). Swimming training assessment: the critical velocity and the 400-m test for age-group swimmers. *J. Strength Cond. Res.* 30, 1365-1372.

Cita Original

Dalamitros AA, Semaltianou E, Toubekis AG and Kabasakalis A (2021) Muscle Oxygenation, Heart Rate, and Blood Lactate Concentration During Submaximal and Maximal Interval Swimming. *Front. Sports Act. Living* 3:759925. doi: 10.3389/fspor.2021.759925