

APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA NIRS EN CAMPO

Ignacio Fernández Jarillo

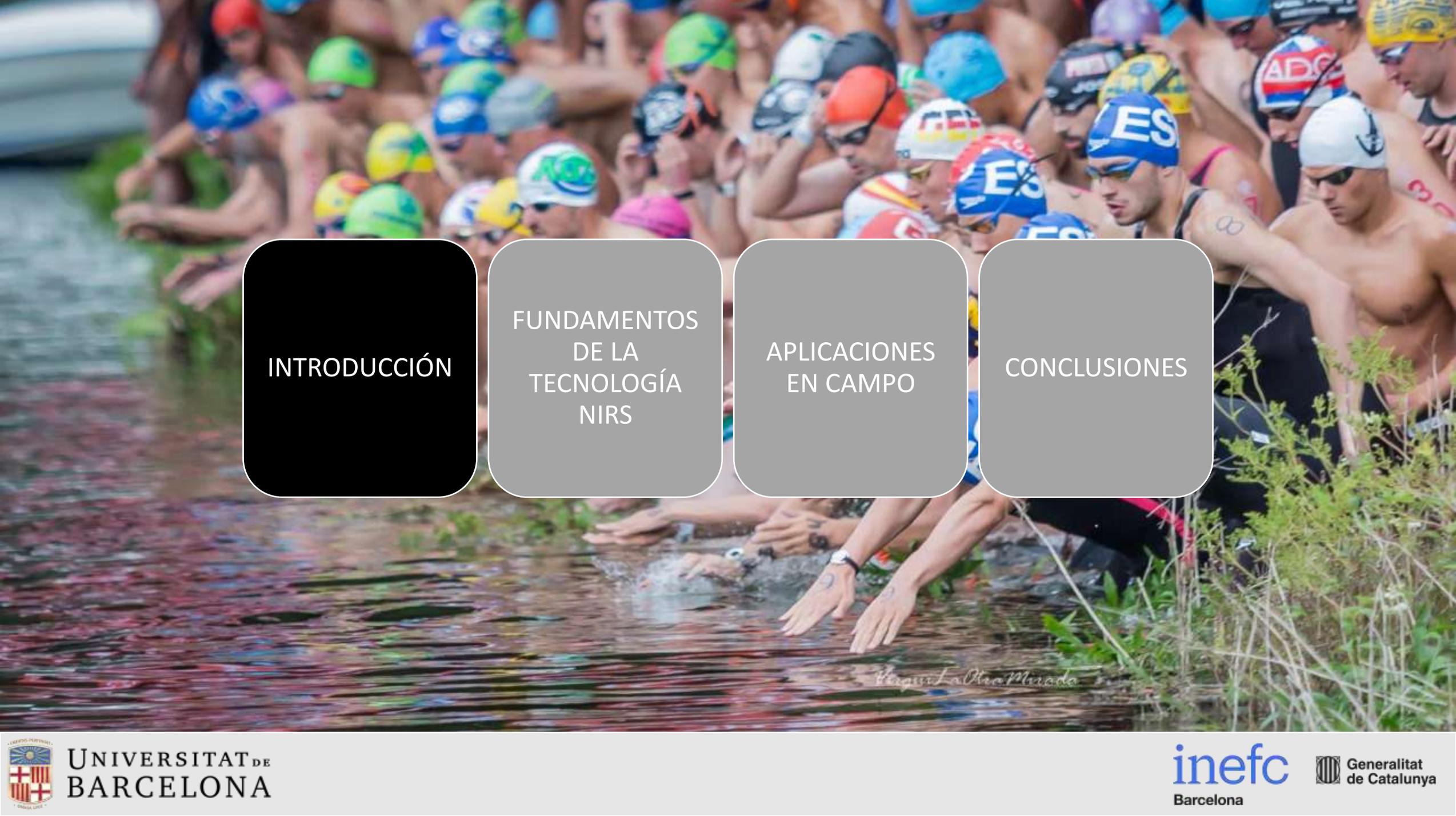




IGNACIO FERNÁNDEZ JARILLO

- Doctorando en INEFC Barcelona
- Colaborador del GRCEIB
- Entrenador de alto rendimiento
- Apasionado del entrenamiento de resistencia
- Máster en Alto Rendimiento y en Fisiología Integrativa





INTRODUCCIÓN

FUNDAMENTOS
DE LA
TECNOLOGÍA
NIRS

APLICACIONES
EN CAMPO

CONCLUSIONES



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

inefc
Barcelona

Generalitat
de Catalunya

The Alphabet of Sport Science Research Starts With Q

A la hora de cuantificar la carga real tenemos dos opciones:

- **Carga externa:** Medida objetiva del trabajo realizado.
- **Carga interna:** Estrés biológico impuesto por la sesión de entrenamiento, definido por la disrupción de la homeostasis.

Deberíamos medir ambas.



Mujika, I. (2013)



Algunos ejemplos de monitorización de la **carga externa** (velocidad y potencia) e **interna** (temperatura corporal o concentración de lactato en sangre) en entrenamiento y competición.

La **evolución tecnológica** ha hecho posible la medición de la carga externa primero, y de la carga interna después en multitud de contextos deportivos, como por ejemplo el Campeonato del Mundo Ironman en Kona.



Core Body Temp Community. (n.d.). *Blummenfelt's core temp at Kona – race analysis*. <https://community.corebodytemp.com/c/discuss-core-body-temp/blummenfelt-s-core-temp-at-kona-race-analysis>

NIVEL SISTÉMICO



NIVEL MICRO-LOCAL



Muscle Oxygenation Unlocks the Secrets of Physiological Responses to Exercise: Time to Exploit it in the Training Monitoring

Stephane Perrey*

EuroMov Digital Health in Motion, Univ Montpellier, IMT Mines Ales, Montpellier, France

1. Es momento de integrar la oxigenación muscular junto con los métodos habituales (p. ej., FC y RPE) para cuantificar la carga interna.
2. Los dispositivos NIRS portátiles ofrecen información clave sobre la actividad muscular no disponible en otras métricas de carácter sistémico..



Perrey S. (2022)



INTRODUCCIÓN

FUNDAMENTOS
DE LA
TECNOLOGÍA
NIRS

APLICACIONES
EN CAMPO

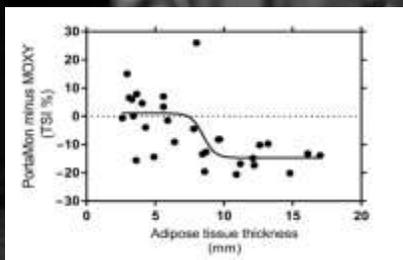
CONCLUSIONES

Grosor tejido adiposo (ATT)

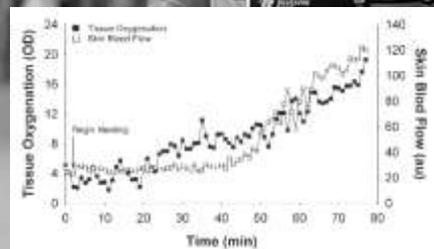
Flujo/volumen sanguíneo en la piel

Heterogeneidad del tejido muscular

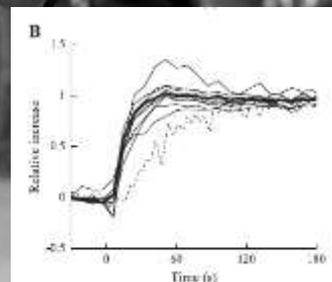
Presión externa



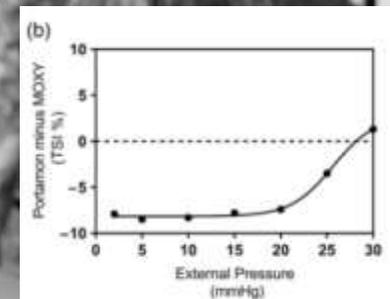
7 mm McManus et al. (2018)



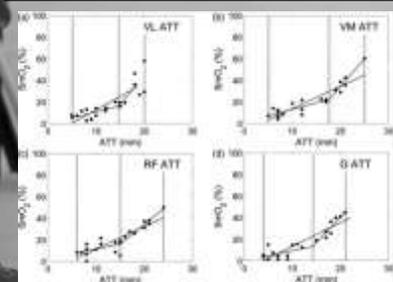
20 mm Davis et al. (2006)



Koga et al. (2007)



20 mmHg McManus et al. (2018)



15 mm Feldmann et al. (2019)



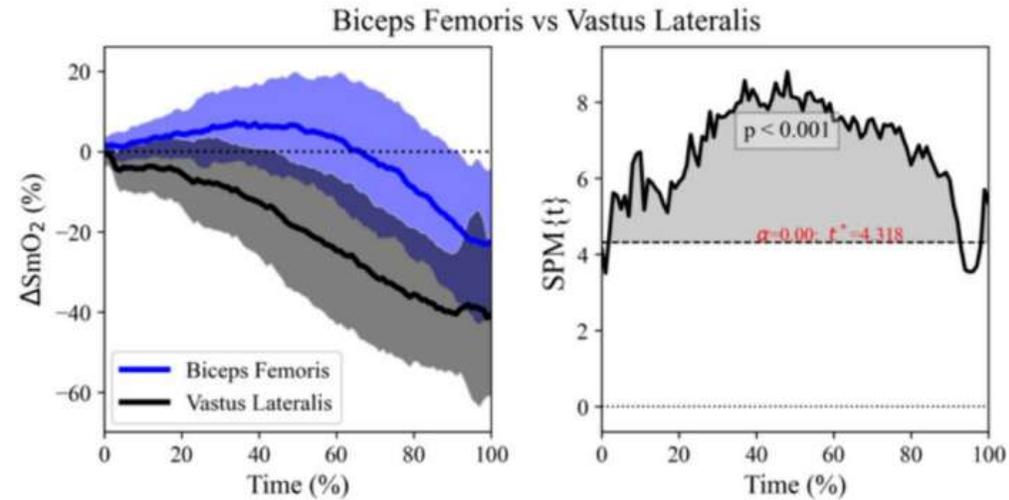
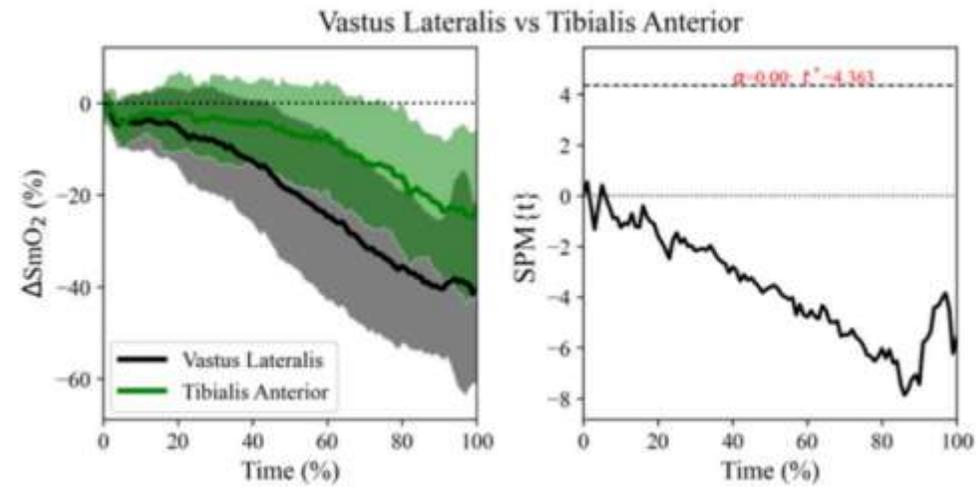
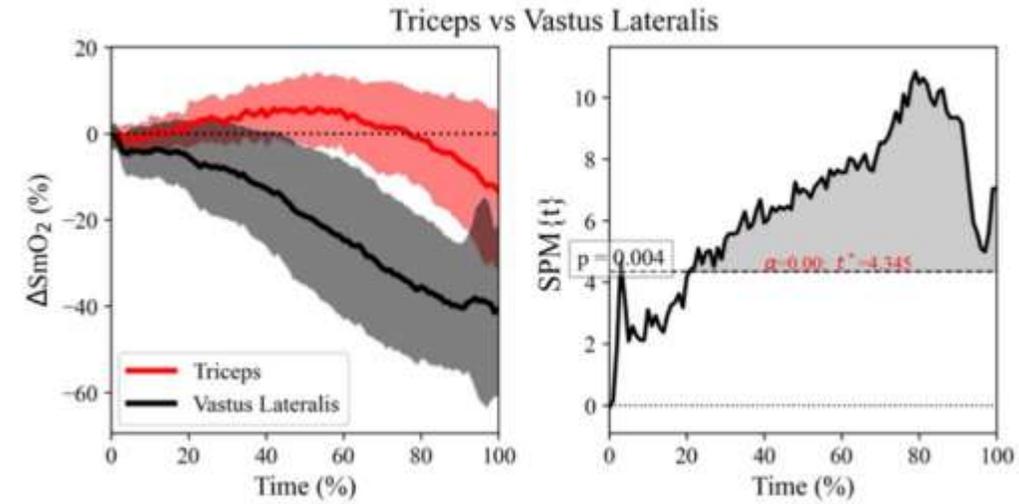
Davis, S. L., et al. (2006)
Feldmann, A., et al. (2019)
McManus C.J., et al. (2018)
Koga, S., et al. (2007)



Colocación
NIRS

Variabilidad
diaria

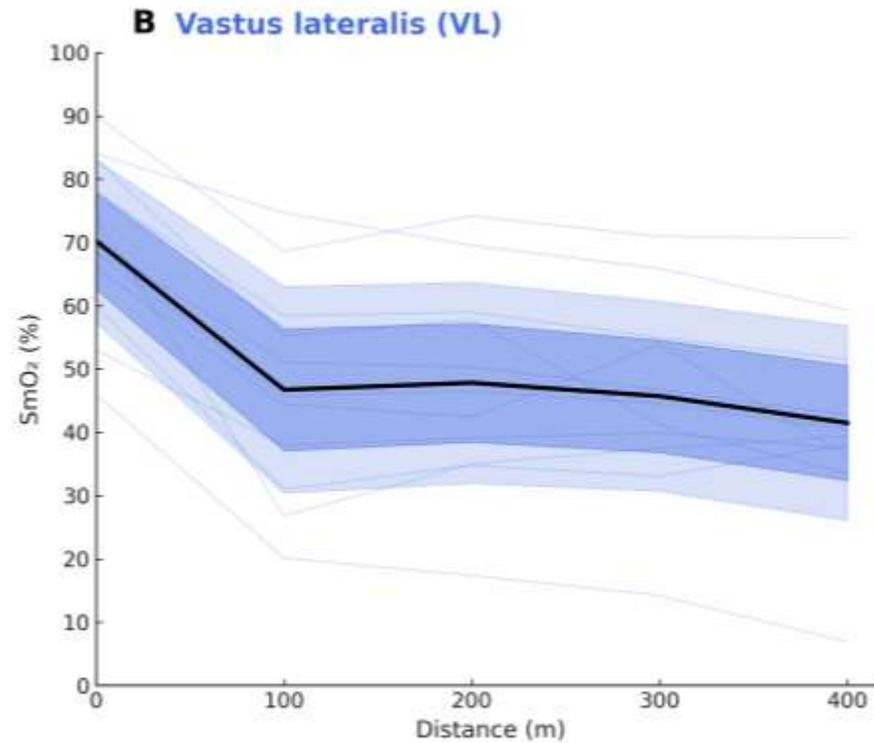
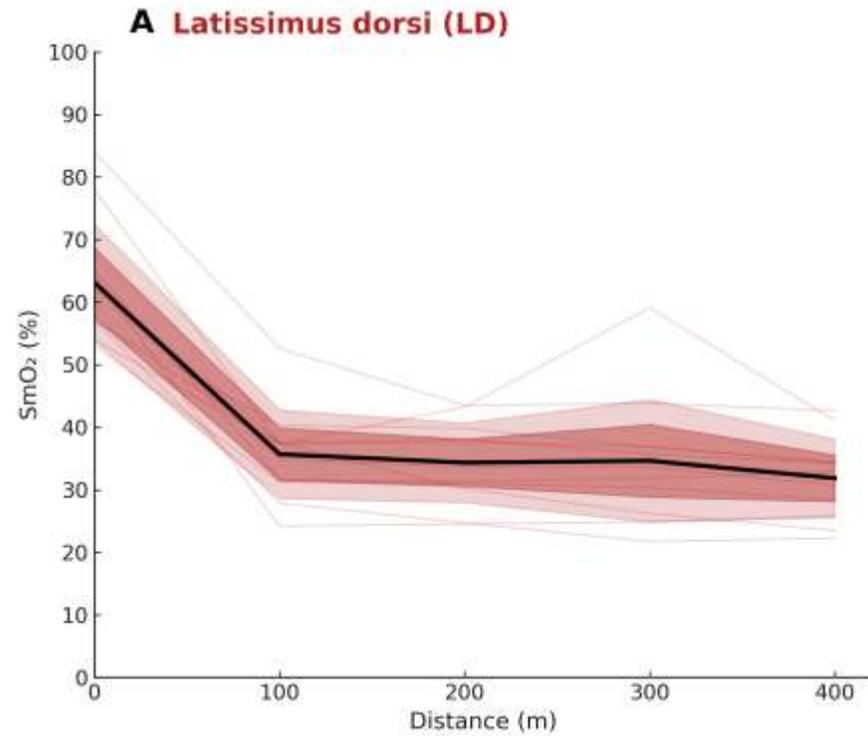
Elección músculo/s a monitorizar



- Diferentes patrones de oxigenación muscular en distintos músculos durante ejercicio incremental.

Sendra-Pérez, C., et al. (2024)

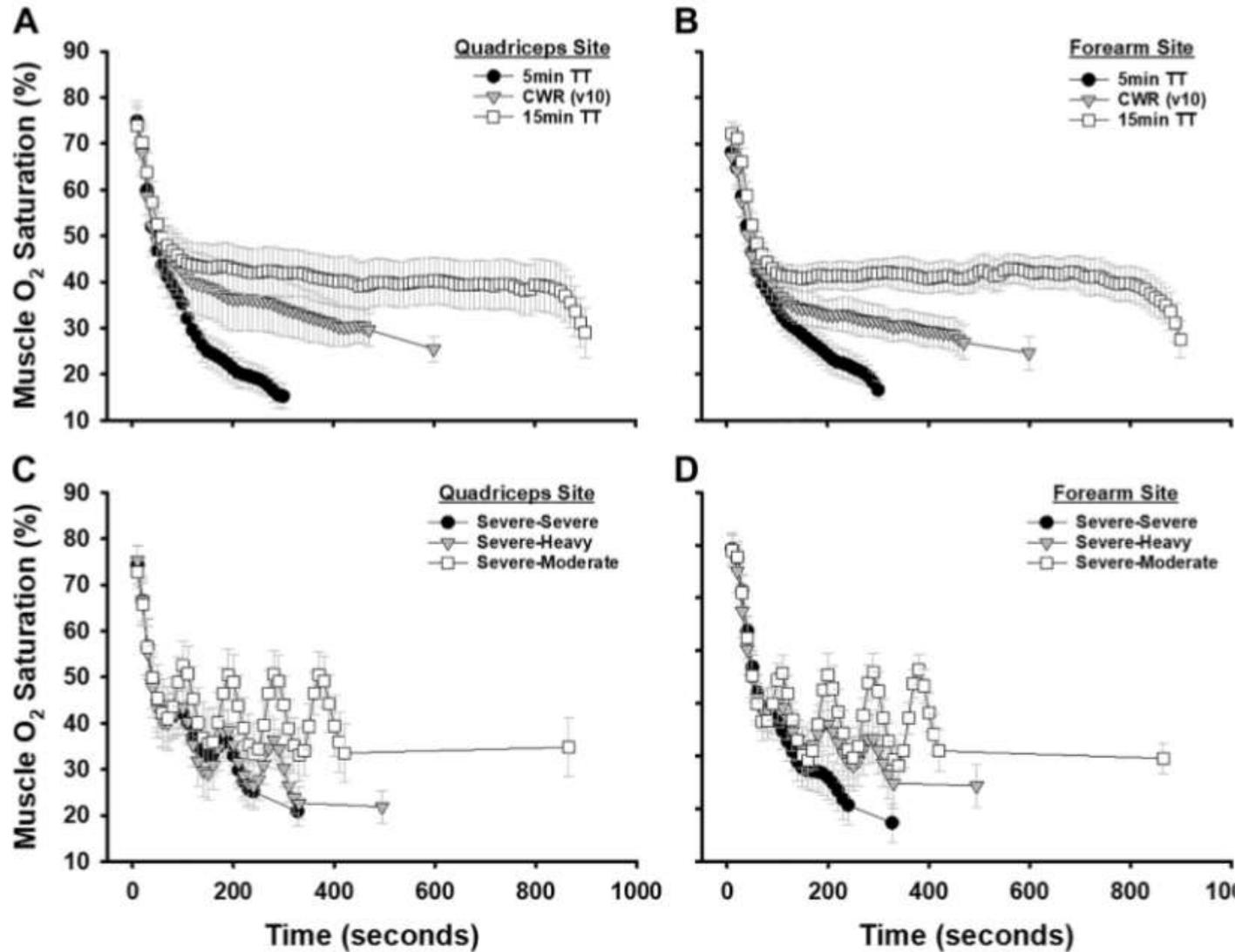
Elección músculo/s a monitorizar



- SmO₂ cambió de forma similar a lo largo de los segmentos en ambos músculos ($p = 0.151$).

Fernández-Jarillo, I., et al. (2025)

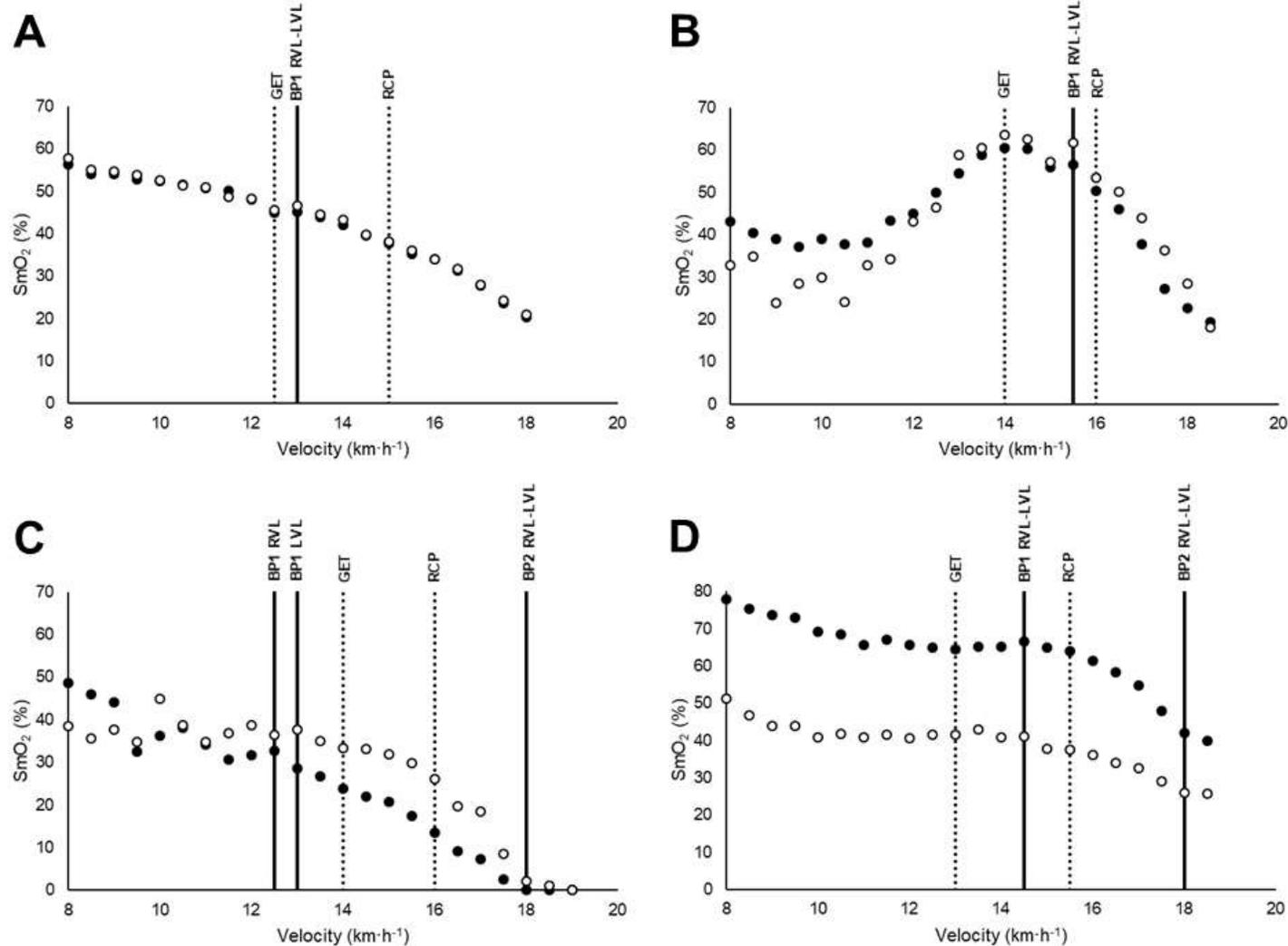
Elección músculo/s a monitorizar



- SmO₂ cambió de forma similar a lo largo de los diferentes test en ambos músculos.

Kirby, B. S., et al. (2021)

Elección músculo/s a monitorizar



- Diferentes patrones de oxigenación muscular en el mismo músculo (VL) en diferentes deportistas.
- Visualmente, patrones parecidos en pierna izquierda derecha aunque valores diferentes en ocasiones.



Muscle Oxygenation Response Profiles during 5-1 Cycling Assessment

Jem Arnold Performance Assessment, Training Optimization October 2, 2022 13 Minutes

Datos no publicados de nuestro grupo de investigación, Triathlon Project II

Elección músculo/s a monitorizar



Elección músculo

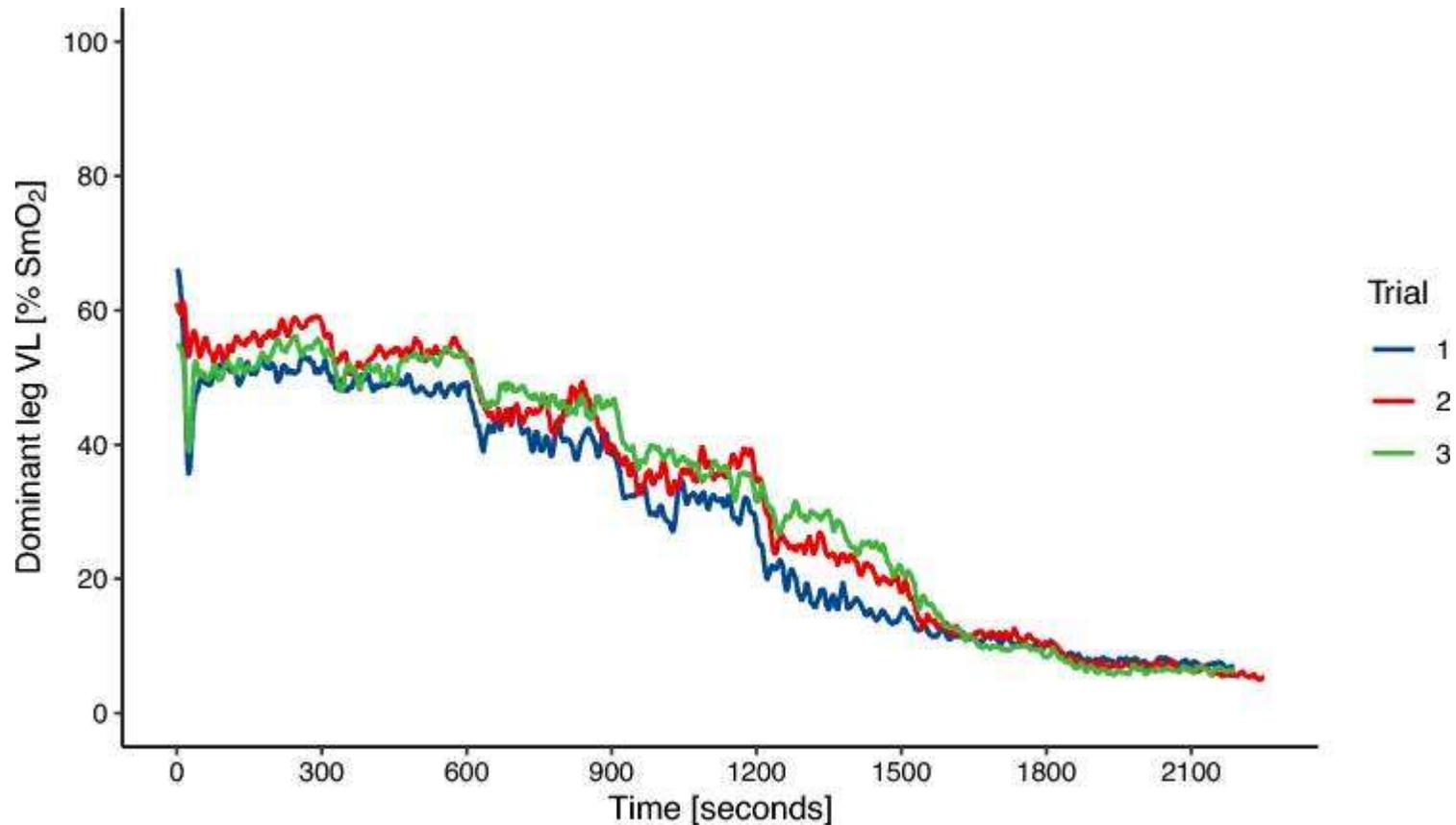
- Modalidad específico
- Individuo específico
- ¿Para qué usamos medición?
 - Limitación músculo concreto
 - Usarlo como marcador sustituto de la fisiología sistémica
 - Asimetrías
 - Efecto de la técnica de ejecución en la fisiología.



Colocación
NIRS

Variabilidad
diaria

¿Cuánto esperamos que la SmO_2 varíe día a día?



Podemos esperar que la SmO_2 medida con Moxy difiera en:

- 6 % (unidades) para ciclismo (Skotzke et al. (2024)).
- 11 % (unidades) para correr (Skotzke et al. (en desarrollo)).

Skotzke, P., et al. (2024)



INTRODUCCIÓN

FUNDAMENTOS
DE LA
TECNOLOGÍA
NIRS

APLICACIONES
EN CAMPO

CONCLUSIONES

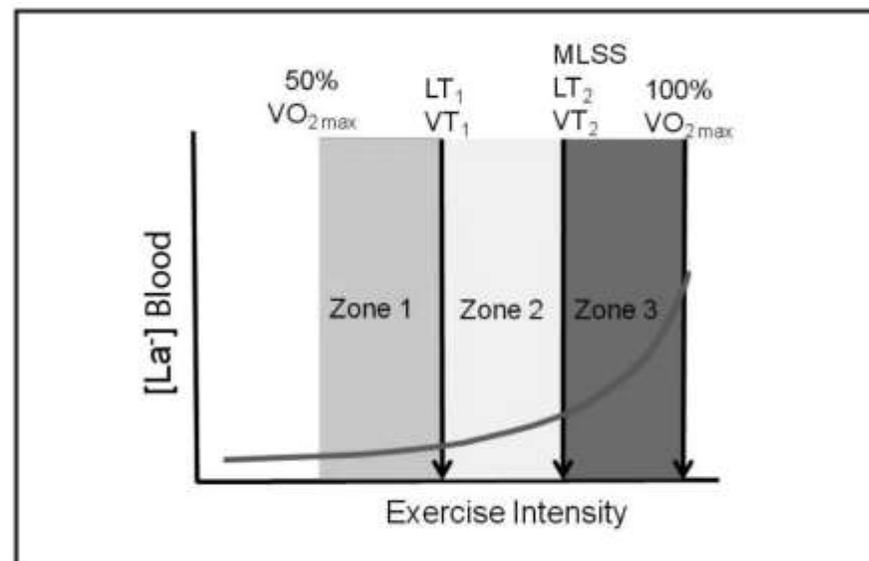
Estimar los umbrales fisiológicos con NIRS





Determinar los umbrales fisiológicos es clave para:

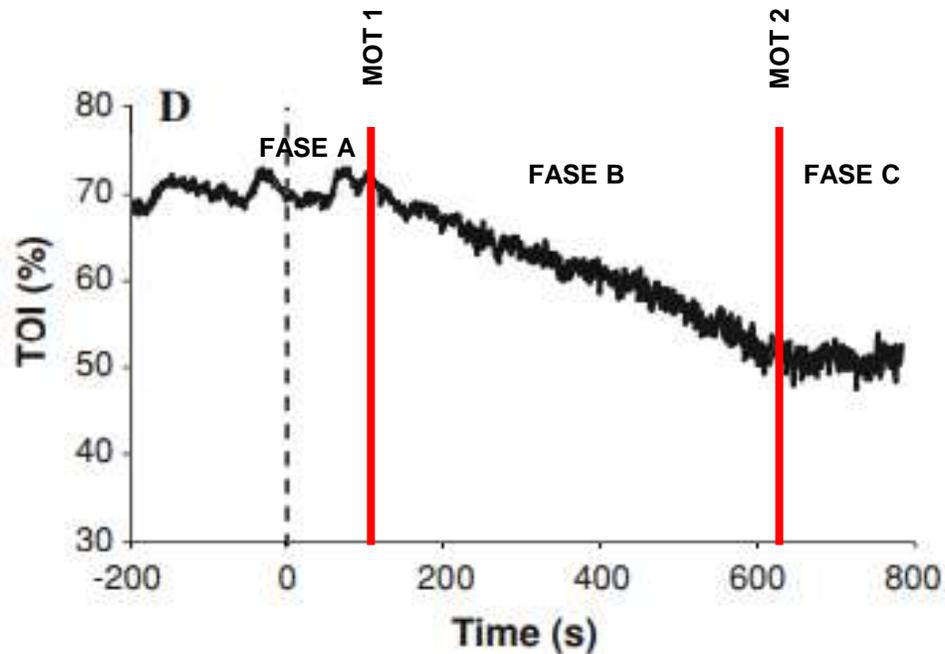
1. Establecer zonas de entrenamiento individualizadas
2. Monitorizar las adaptaciones al entrenamiento.



Seiler, K. & Kjerland, G. (2006)

Characterizing the profile of muscle deoxygenation during ramp incremental exercise in young men

Matthew D. Spencer · Juan M. Murias ·
Donald H. Paterson



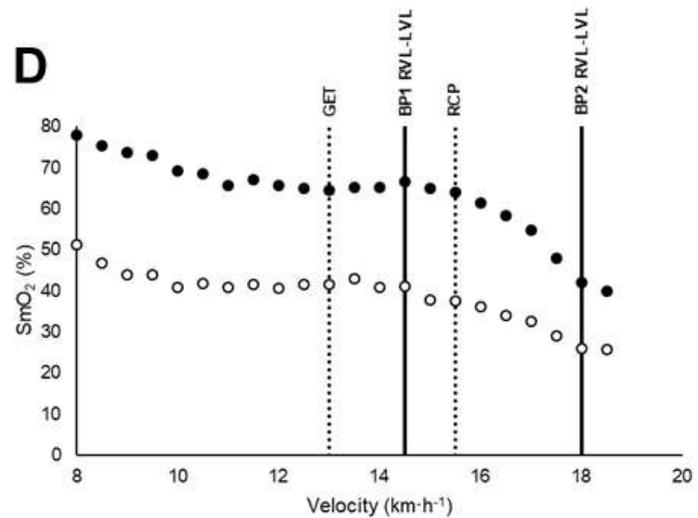
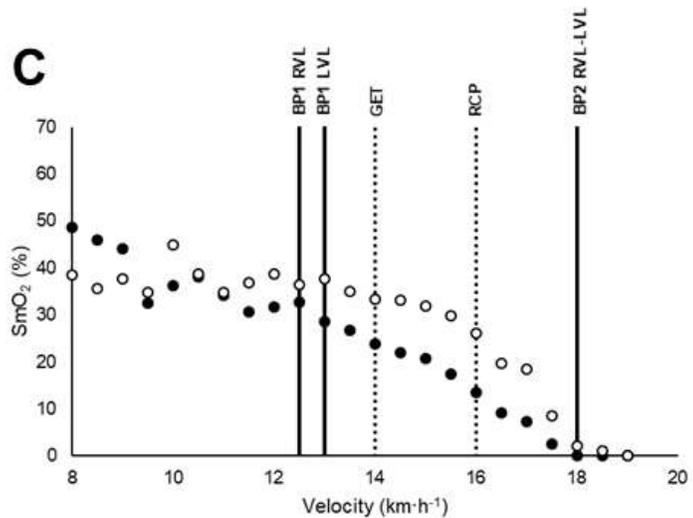
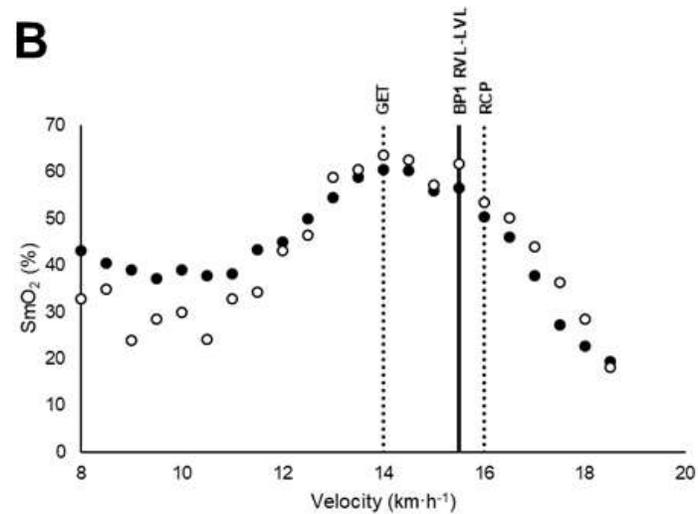
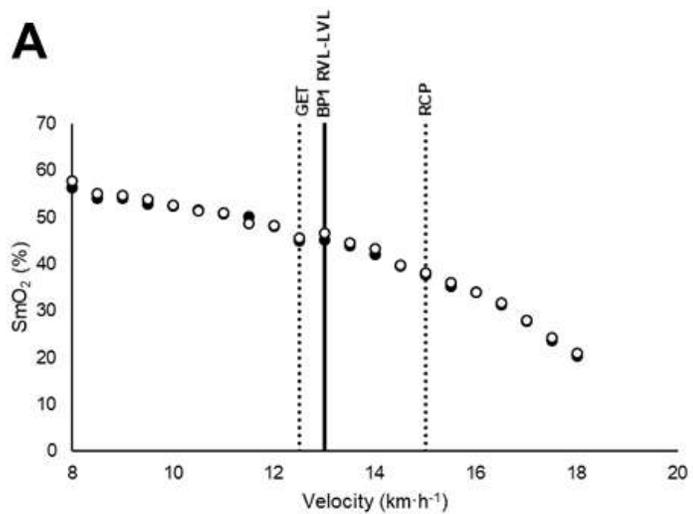
Comportamiento trifásico

- **Fase A:** Equilibrio entre aporte de O_2 y la utilización de O_2 .
- **Fase B:** Aumenta la extracción de O_2 relativa al aporte de O_2 .
- **Fase C:**
 - Aumento flujo sanguíneo por vasodilatación inducida por aumento de metabolitos locales (Murias et al., 2013).
 - Redistribución del flujo sanguíneo (Murias et al., 2013).
 - Techo en la extracción de O_2 (Spencer et al., 2012; Legrand et al., 2007).

Spencer, M.D., et al. (2012)

Murias, J.M., et al. (2013)

Legrand, R., et al. (2007)



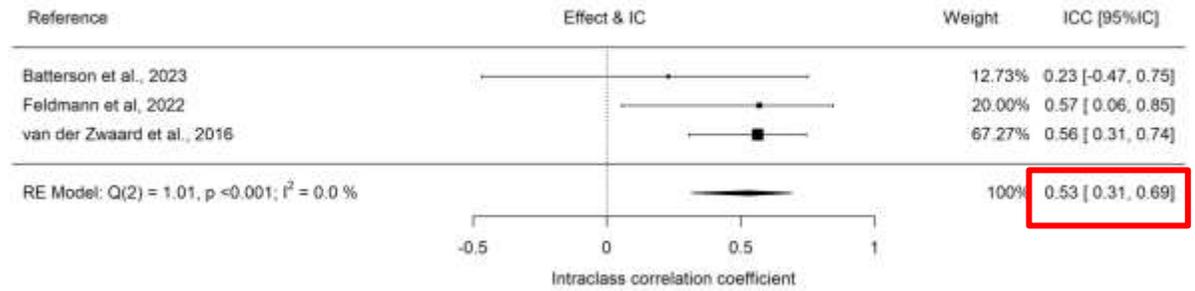
Muscle Oxygenation Response Profiles during 5-1 Cycling Assessment

Jens Arnold Performance Assessment, Training Optimization October 2, 2022 13 Minutes

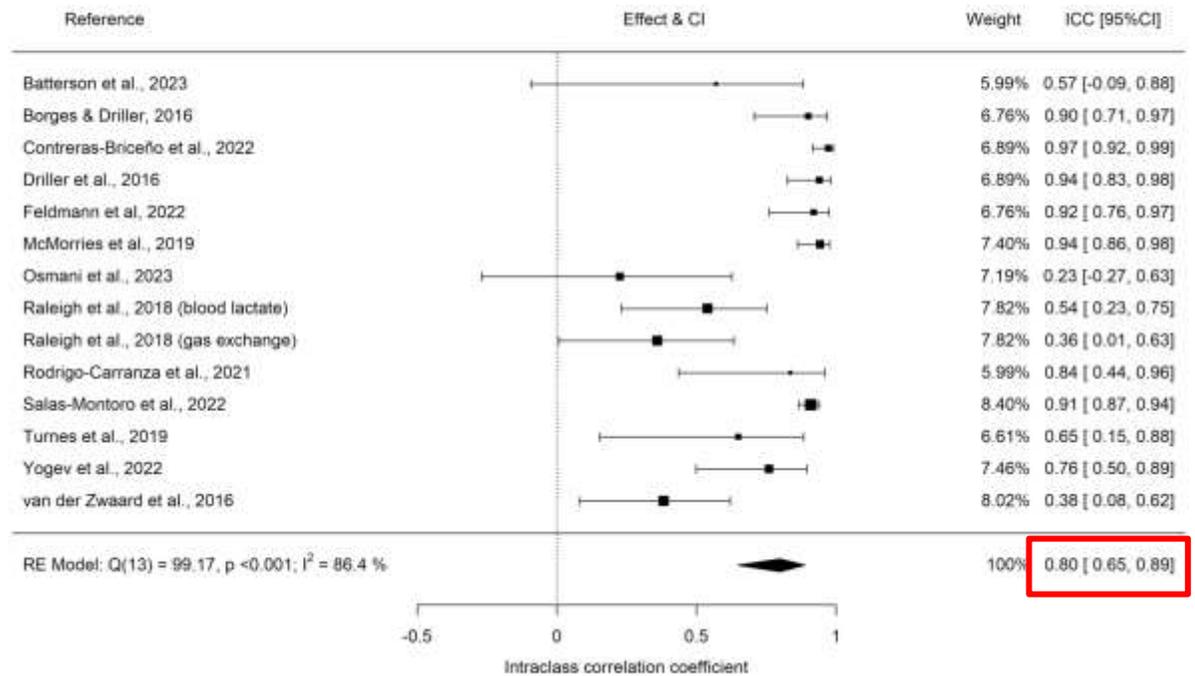
Datos no publicados de nuestro grupo de investigación, Triathlon Project II



A. First threshold



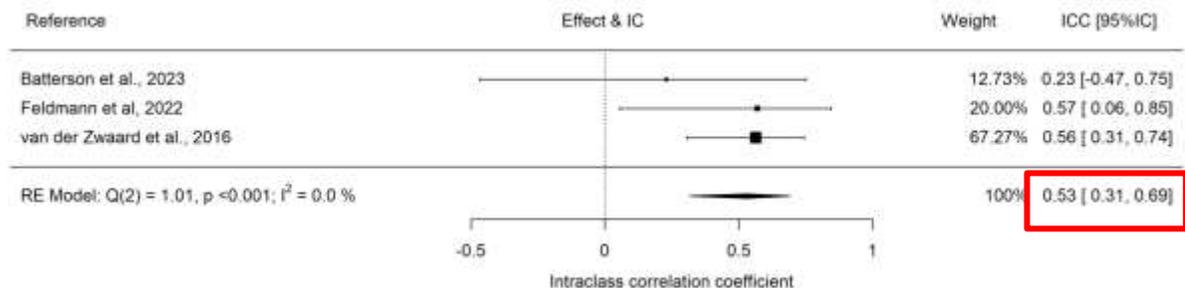
B. Second threshold



Sendra-Pérez, C., et al. (2023)

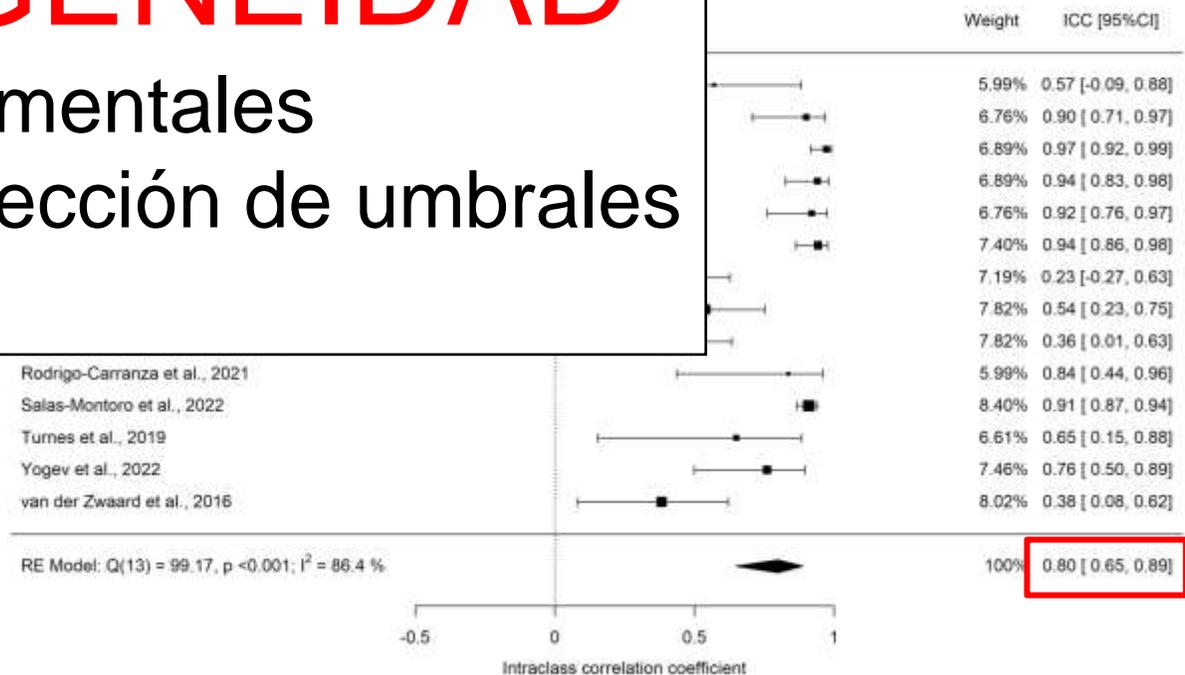


A. First threshold

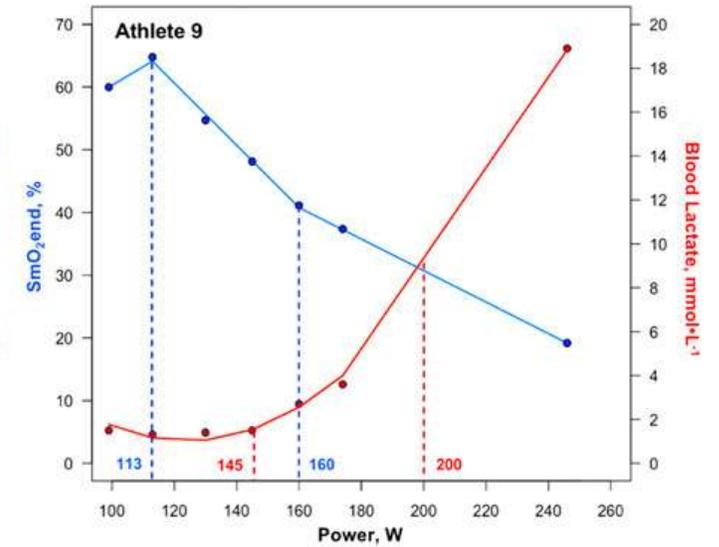
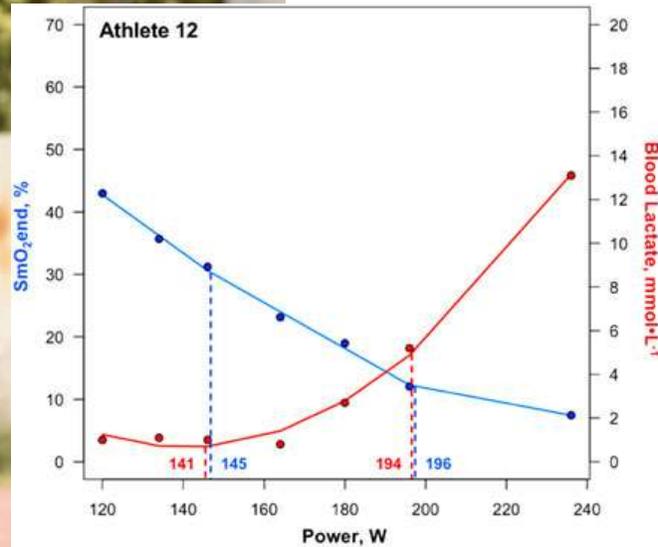
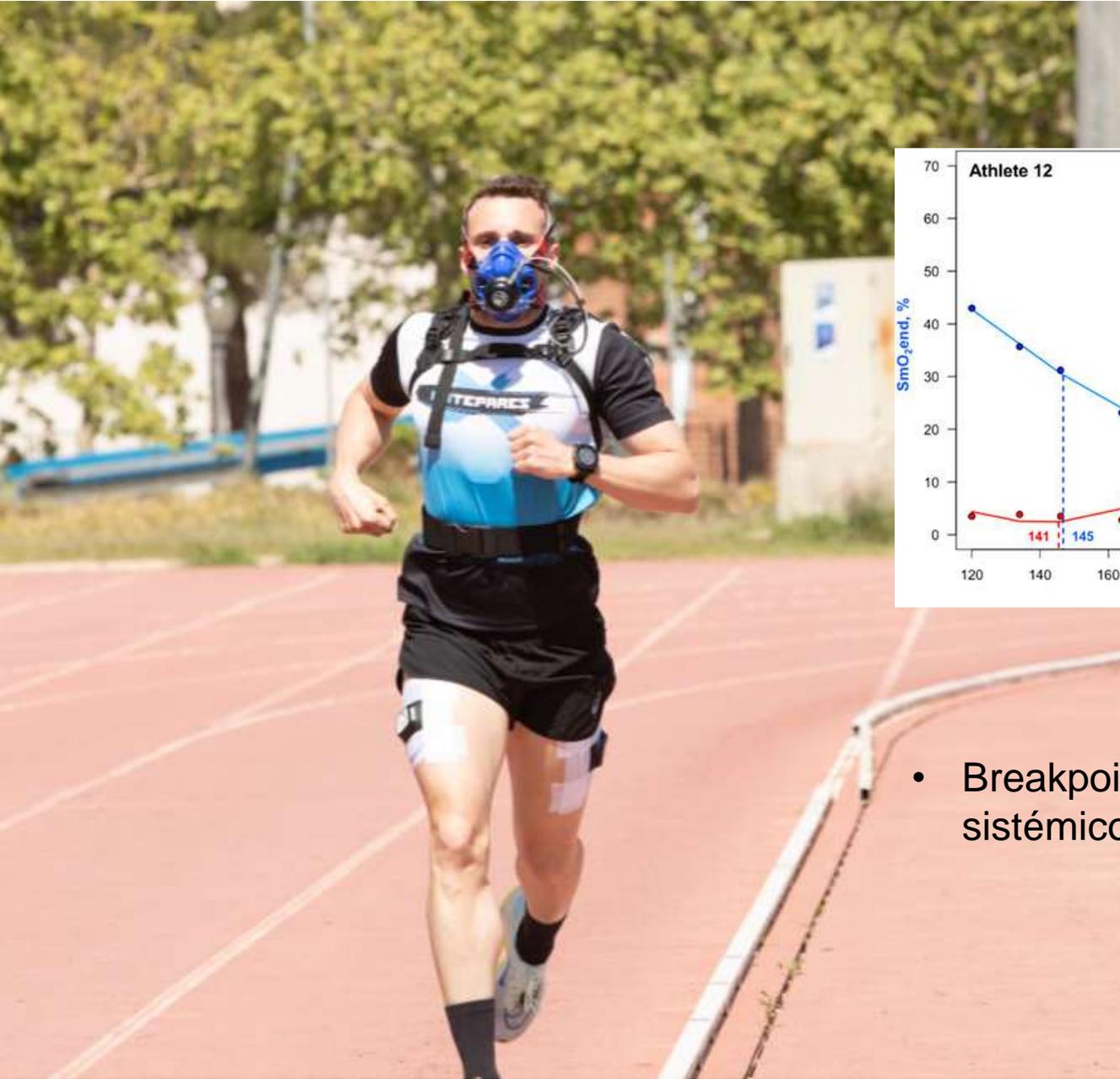


HETEROGENEIDAD

- Protocolos incrementales
- Sistemas de detección de umbrales de SmO_2

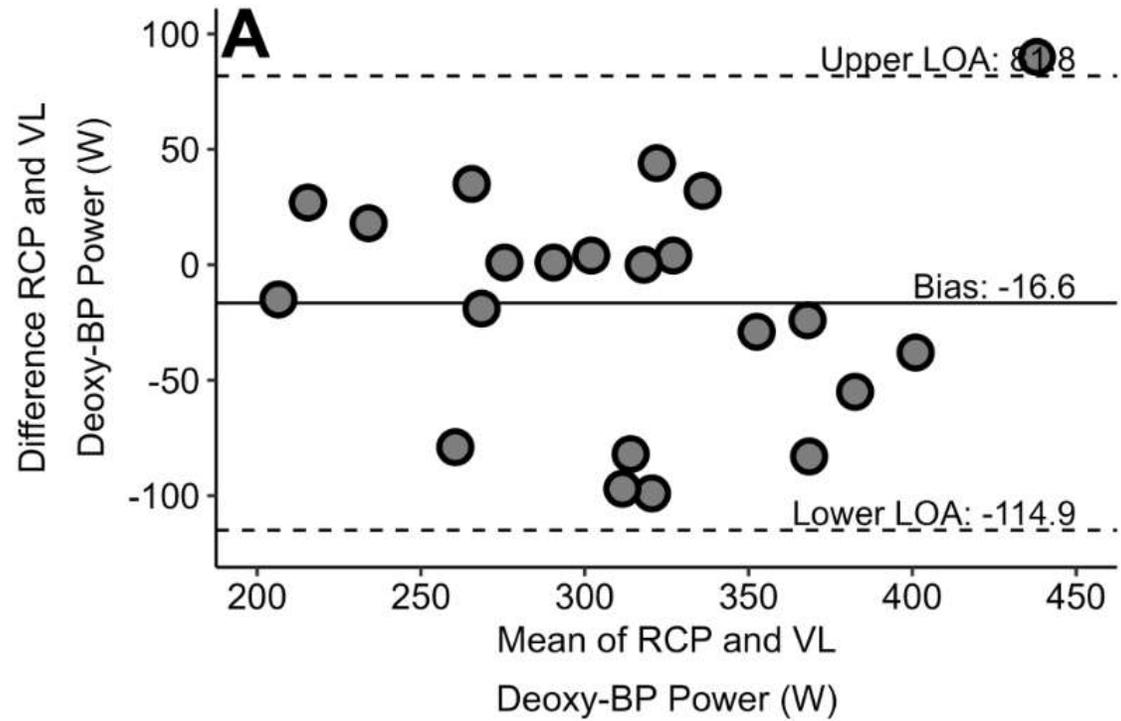


Sendra-Pérez, C., et al. (2023)



- Breakpoints SmO_2 no son equivalentes a umbrales sistémicos

Eserhaut, D.A., et al. (2025)



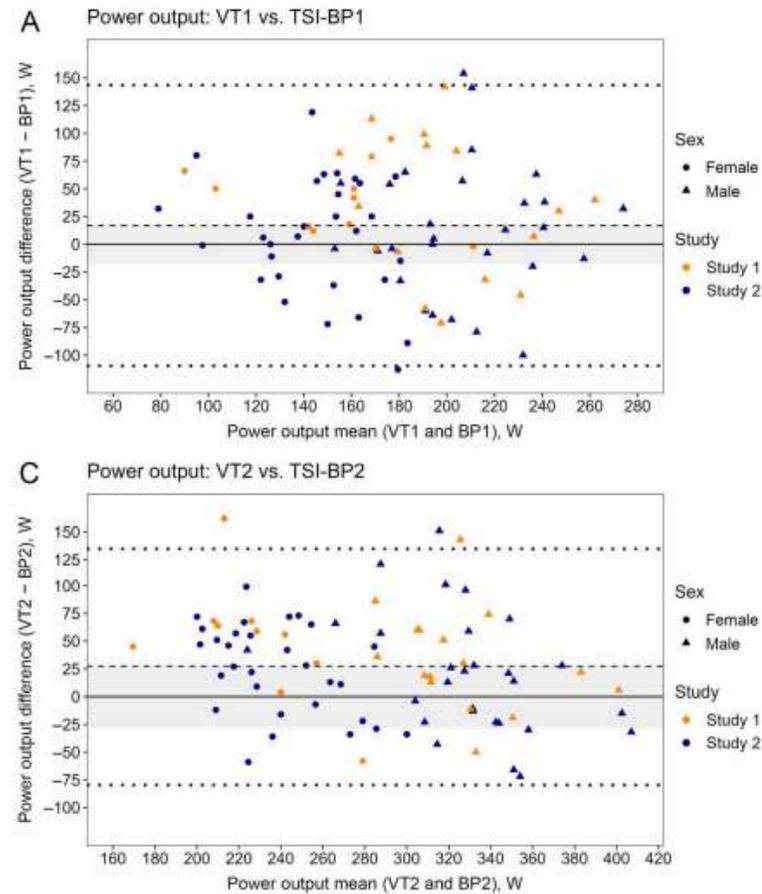
- **Nivel grupal:** Breakpoints de SmO_2 se asocian a los umbrales sistémicos.
- **Nivel individual:** Gran variabilidad, sin un orden fijo.

Yogev, A., et al. (2022)

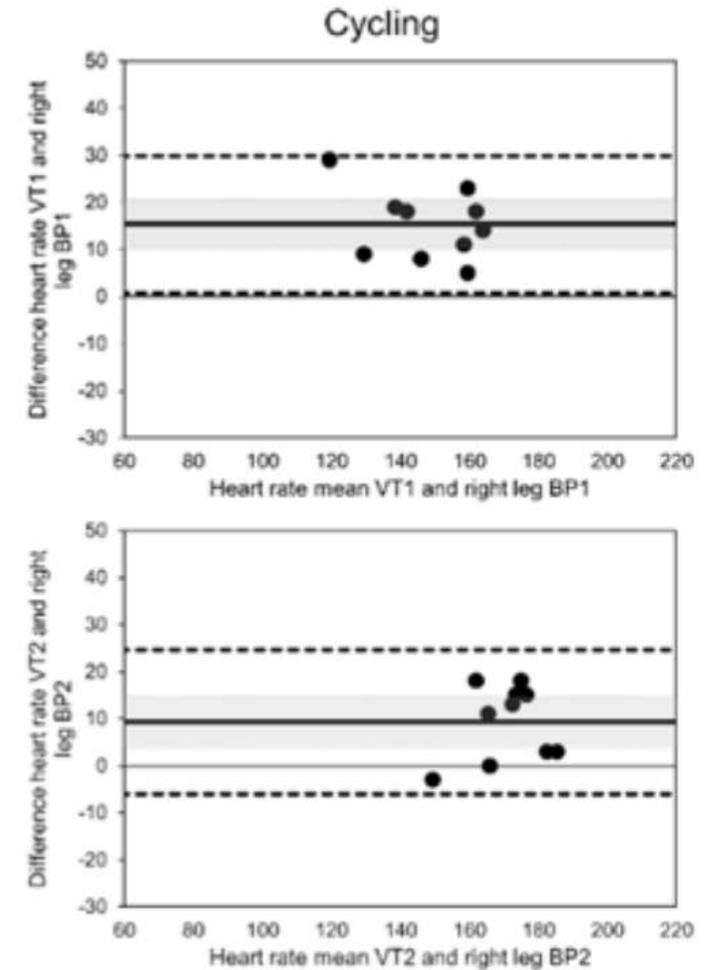
¿Podemos estimar los umbrales fisiológicos con NIRS?

Desde mi punto de vista:

- ¡NO! Con lo que sabemos hoy.
- Utilizar de forma complementaria a determinación de umbrales de lactato o umbrales ventilatorios.



Arnet et al. (2025)



Feldmann et al. (2022)

Feldmann, A., et al. (2022)

Arnet, J., et al. (2025)



Control de la intensidad con NIRS

Historia del control de la intensidad a través de la monitorización de la carga interna



Historia del control de la intensidad a través de la monitorización de la carga interna



The Norwegian model of lactate threshold training and lactate controlled approach to training.

A look at some of the concepts, history, and keys to improvement.

A bit of history and my own journey



The history of Norwegian runners using lactate meters to control running intensity dates back to 1998 when the Norwegian Athletics Federation together with Olympiatoppen/OLT initiated a project to monitor the training of the top runners in Norway.

It involved evaluating workouts, helping with the structure of training, and in particular looking at intensity control through lactate measurements in the lab compared to field tests. Among the OLT staff was Evertsen and Tønnessen.

At the time, the various elite Norwegian training groups had a wide variety of training approaches, ranging from pure Lydiard training to more intense Martin/Coe type of training.

Bakken, M. (2002)

Historia del control de la intensidad a través de la monitorización de la carga interna

Open Access

Review

Does Lactate-Guided Threshold Interval Training within a High-Volume Low-Intensity Approach Represent the “Next Step” in the Evolution of Distance Running Training?

by Arturo Casado ^{1,*} , Carl Foster ², Marius Bakken ³ and Leif Inge Tjelta ⁴

A Longitudinal Case Study of the Training of the 2012 European 1500 m Track Champion

Leif Inge Tjelta

Department of Education and Sports Science,

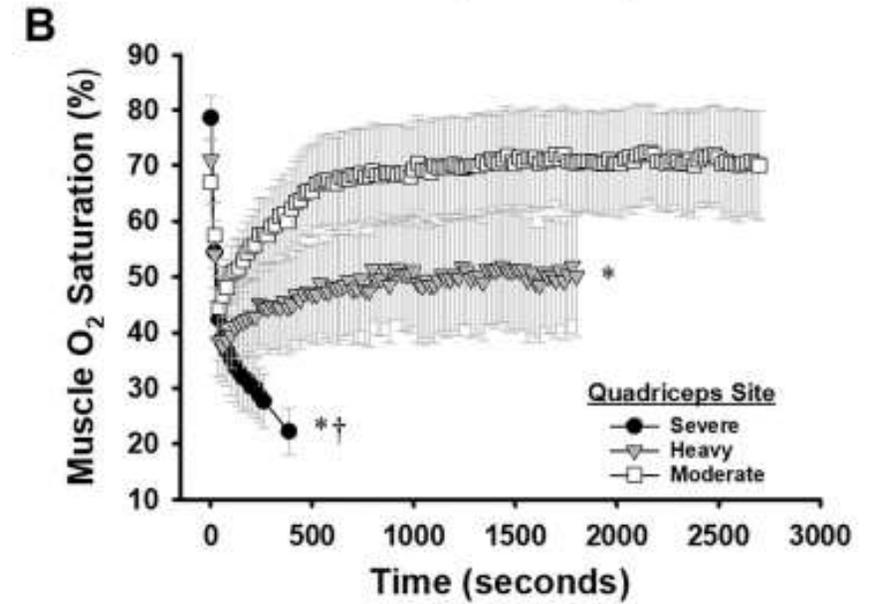
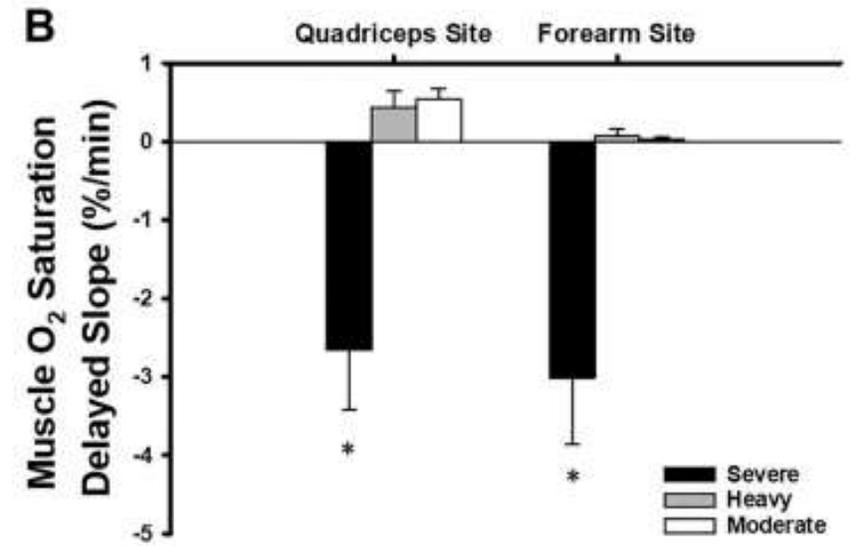
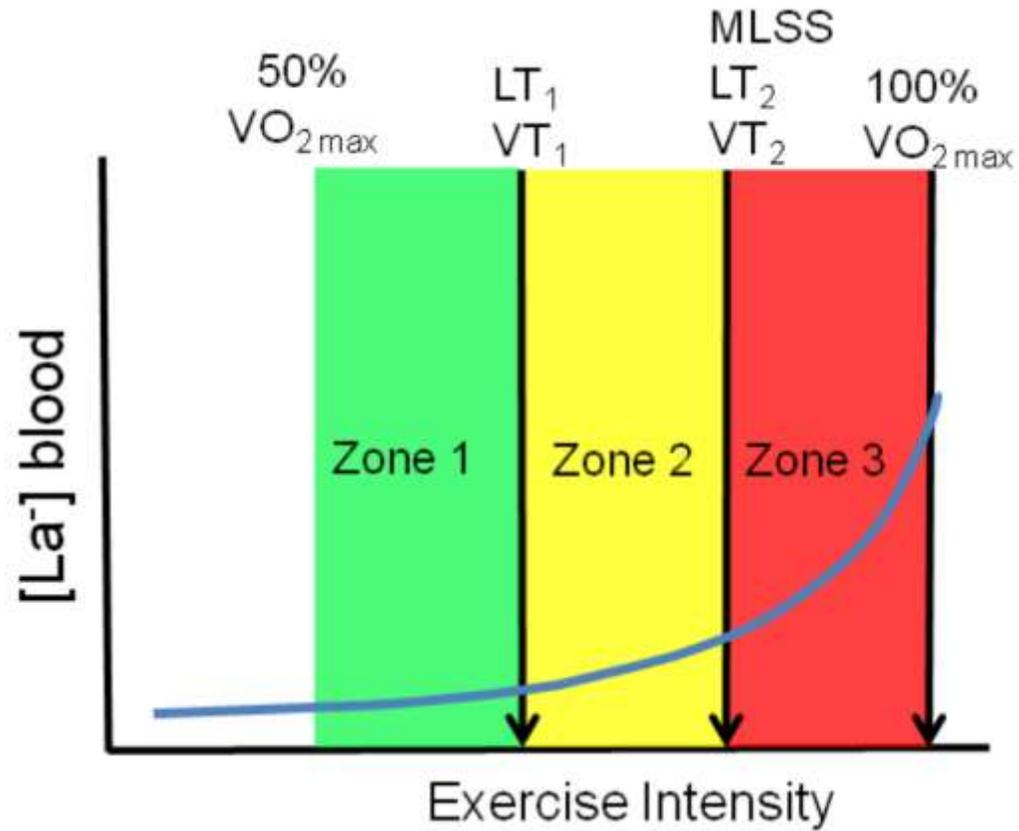
University of Stavanger, N-4036 Stavanger Norway



Tjelta, L.I., et al. (2010)
Casado, A., et al. (2023)

Control de la intensidad con NIRS

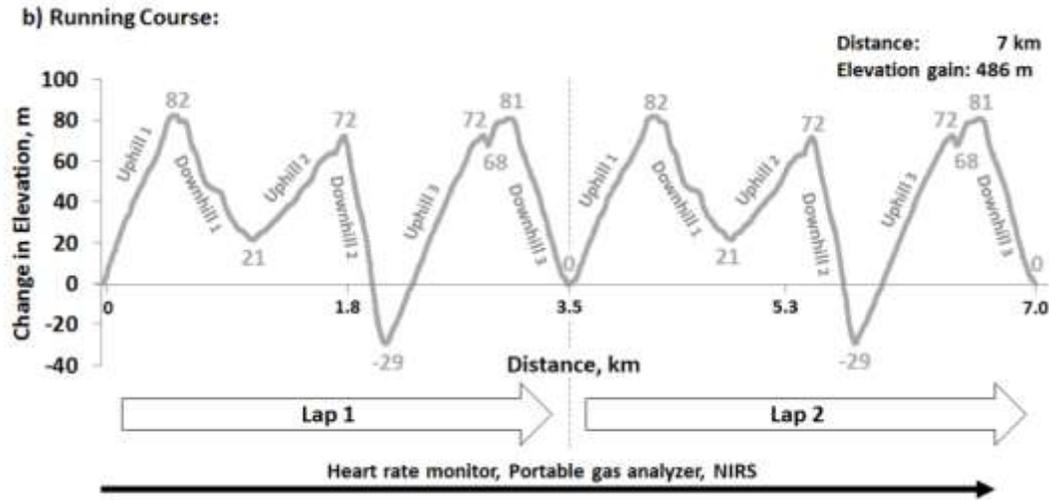
Transición dominio pesado - severo



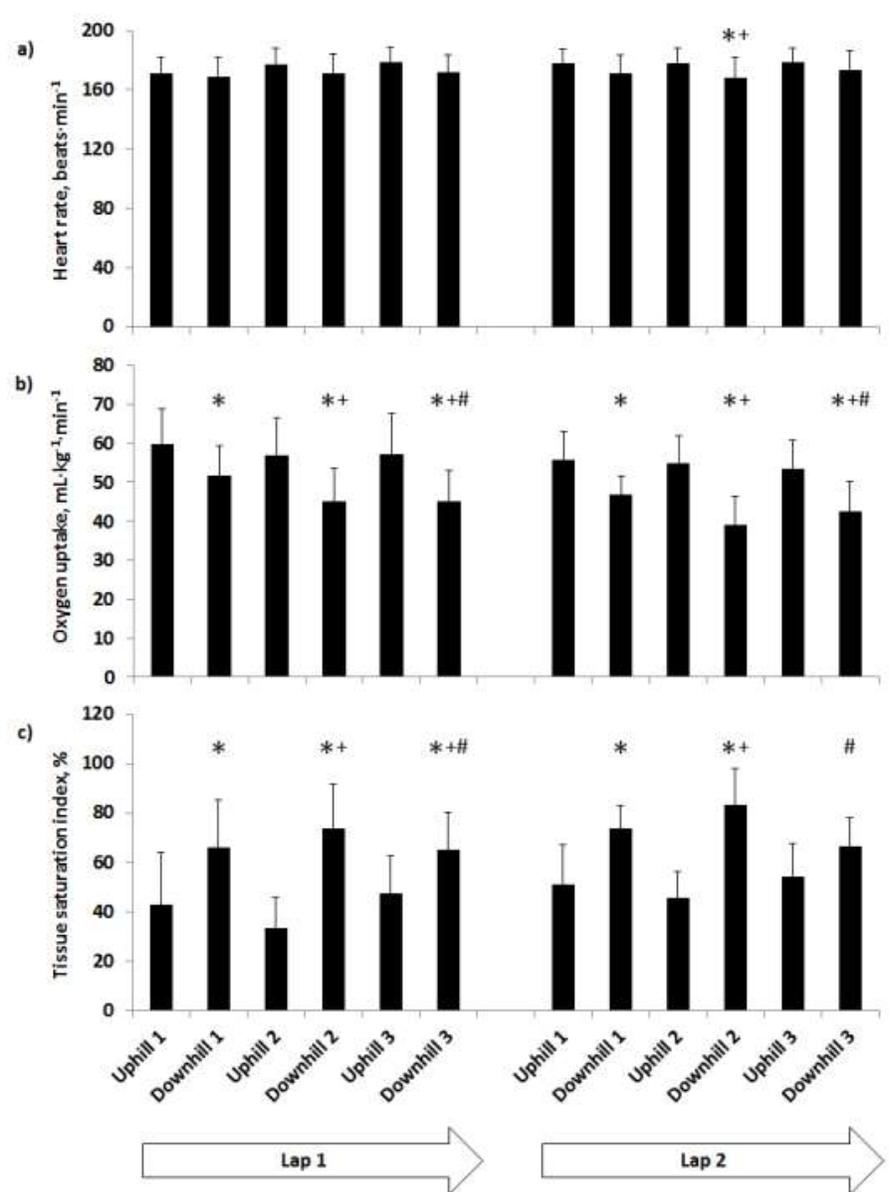
Kirby, B. S., et al. (2021)

Control de la intensidad con NIRS

Terreno ondulado



- Frecuencia cardíaca: Estable durante la contrarreloj.
- Consumo de oxígeno: Aumentaba en las subidas y disminuía en las bajadas.
- SmO_2 : Disminuía en las subidas y aumentaba en las bajadas (correlación inversa con VO_2).



* $p < 0.05$ con subida previa; + $p < 0.05$ con primera subida en la vuelta; # $p < 0.05$ con segunda subida en la vuelta

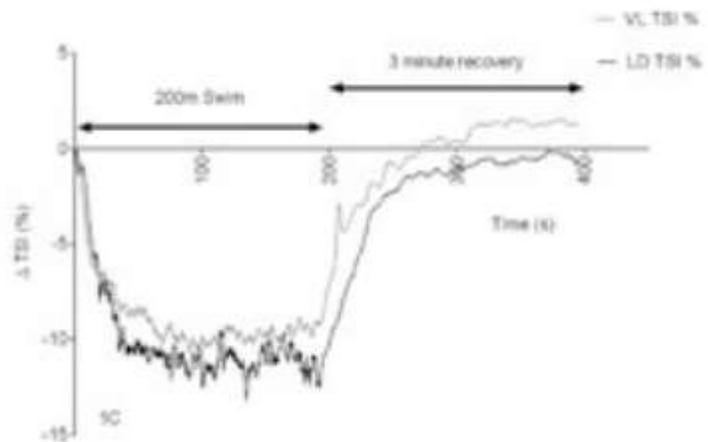
Born, D. P., et al. (2017)

Aplicación NIRS a la natación



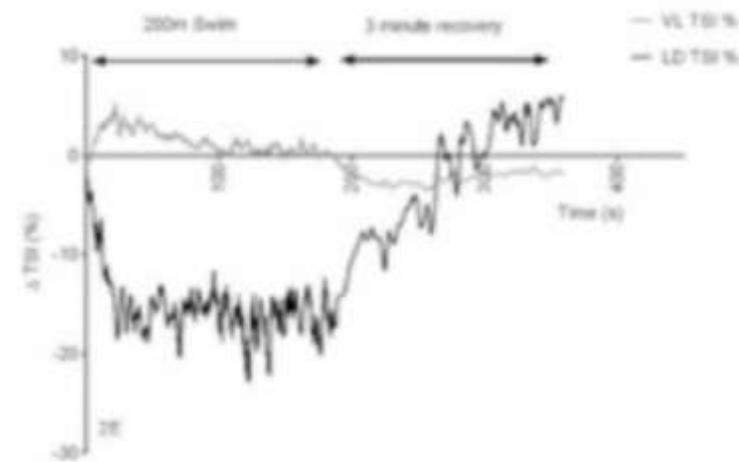
Aplicación NIRS a la natación

Nadadores de club



ΔSmO_2 LD vs ΔSmO_2 VL $p = 0.686$

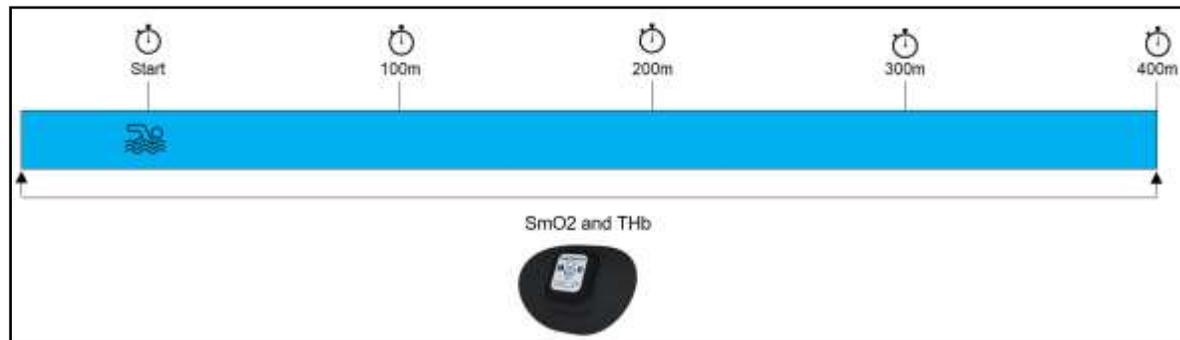
Triatletas



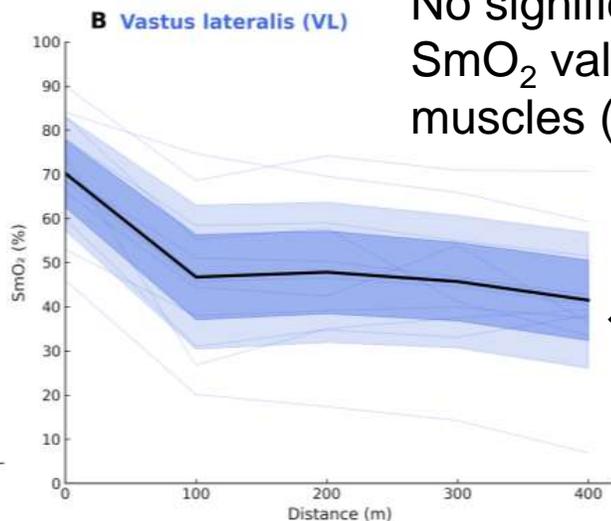
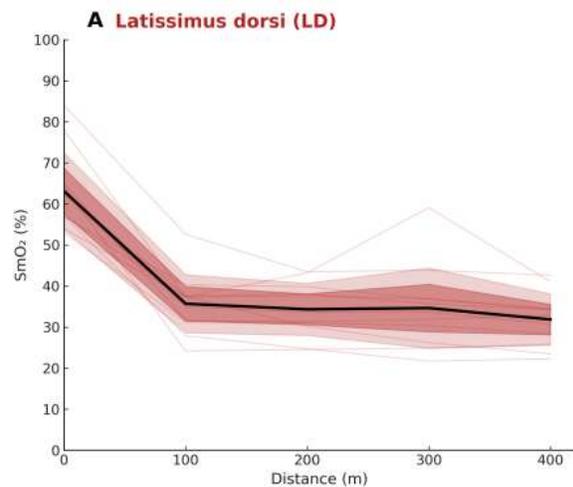
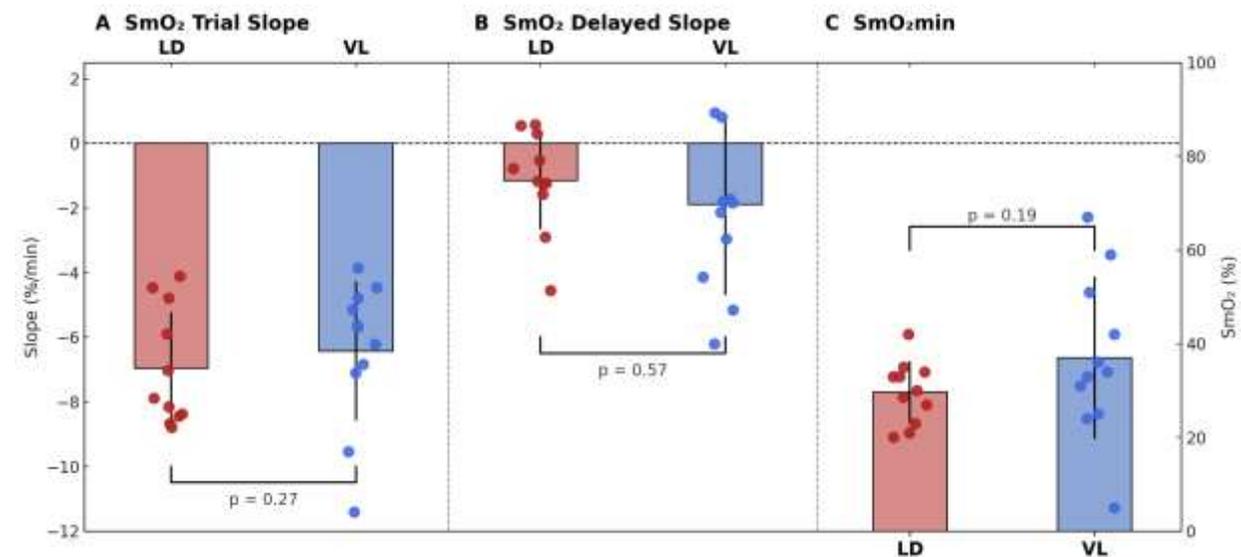
ΔSmO_2 LD vs ΔSmO_2 VL $p = 0.043$

Jones, B., & Cooper C.E. (2016)

Aplicación NIRS a la natación



 11 international swimmers
5 men
6 women
400m time: 04:33 ± 00:14 (mm:s)
Wetsuit: Sailfish Ignite 2



No significant differences in SmO_2 values between muscles ($p = 0.073$).



No hubo diferencias significativas entre VL y LD en ninguno de los índices analizados.

Fernández-Jarillo, I., et al. (2025)

Aplicación NIRS a la natación

- Eficiencia es clave en aguas abiertas (López-Belmonte et al., 2024).
- ¿Podemos valorar mejoras en la eficiencia a través de la SmO_2 ?
- ¿Cuál es el efecto del drafting en la SmO_2 ? (Gil-Tarazona et al., en proceso).



López-Belmonte et al. (2024).
Open Water Project



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

inefc
Barcelona

Generalitat
de Catalunya



RED

Aplicación NIRS a la natación artística

SynchroProject II: Alto rendimiento y salud en mujeres de natación artística

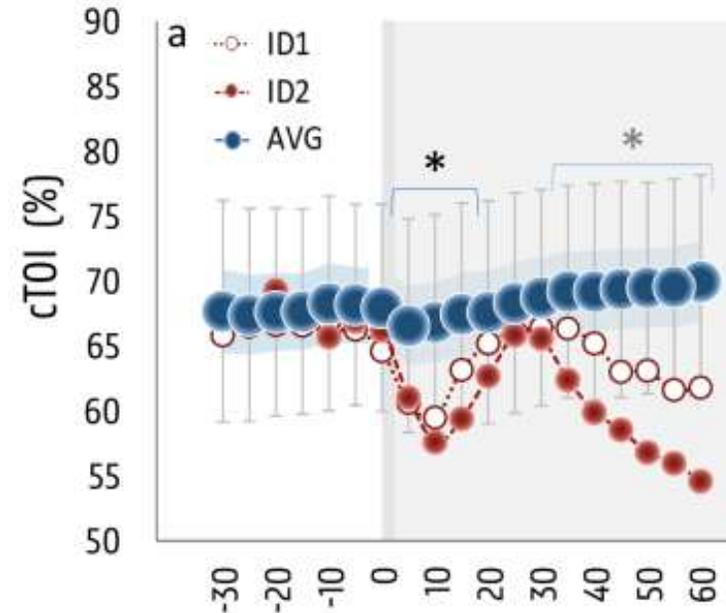
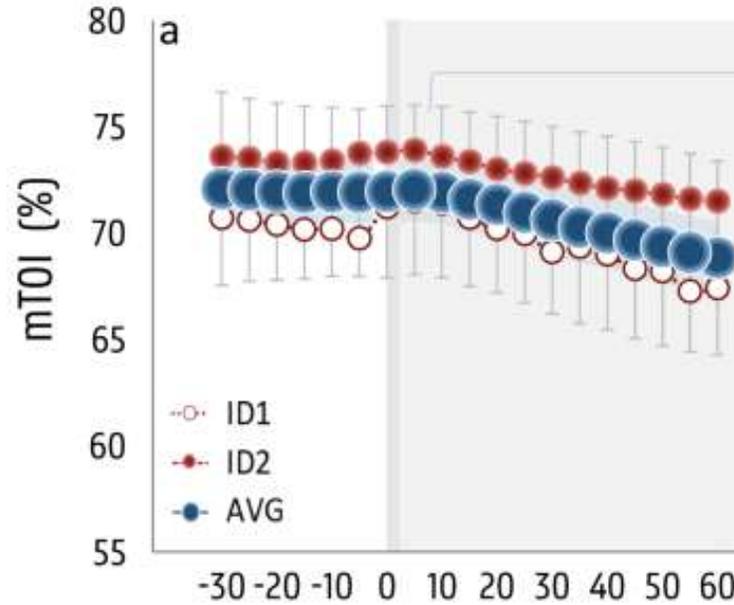
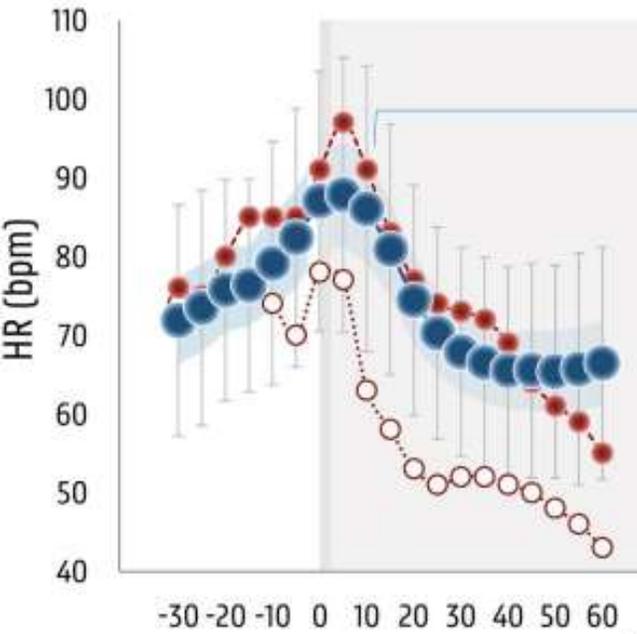


Near Infrared Spectroscopy (NIRS) Observation of *Vastus Lateralis* (Muscle) and *Prefrontal Cortex* (Brain) Tissue Oxygenation During Synchronised Swimming Routines in Elite Athletes

¿Puede la saturación de oxígeno cerebral ayudarnos a identificar a las nadadoras propensas a sufrir **síncope** durante las fases de apnea en las rutinas de natación artística?



B. Jones and C. E. Cooper



Jones, B., & Cooper C.E. (2018)

Bouten, J., et al. (2020)

Estimación del tiempo límite con NIRS



Estimación del tiempo límite con NIRS

- Cuanto mayor es el esfuerzo, mayor es la pendiente de desaturación.
- Pendiente de desaturación predice el tiempo límite con un buen ajuste ($R^2 = 0.79$).

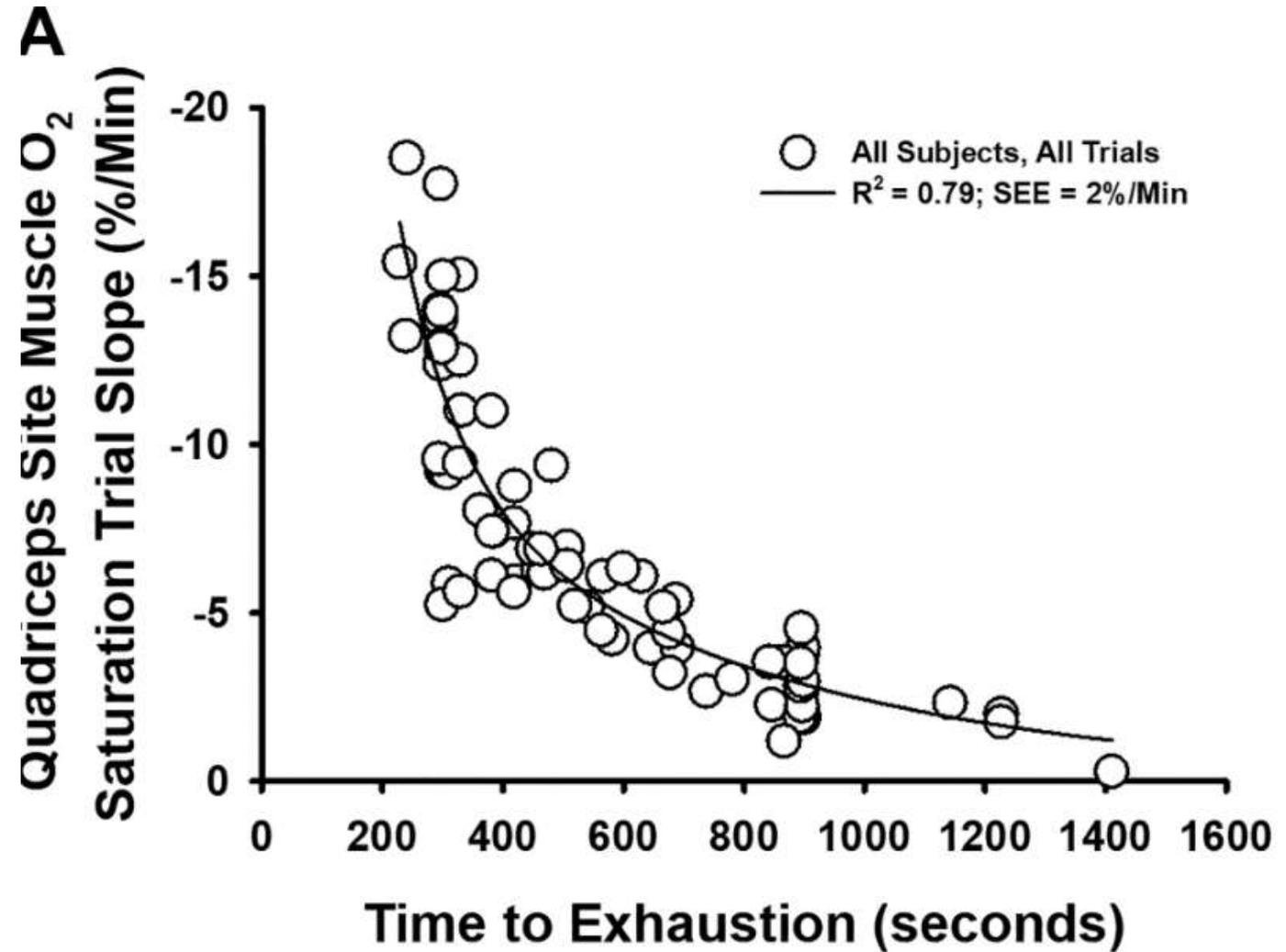
EJEMPLO

Un deportista completa 2km en 6 min (3:00/km) con una pendiente de desaturación de -10 %/min. ¿Crees que está preparado para sostener ese ritmo 5km?

Según el modelo: (300-500 s)

5 min – 8 min 20 s

En base al modelo de predicción, es difícil que complete los 5 km a este ritmo.



Kirby, B. S., et al. (2021)

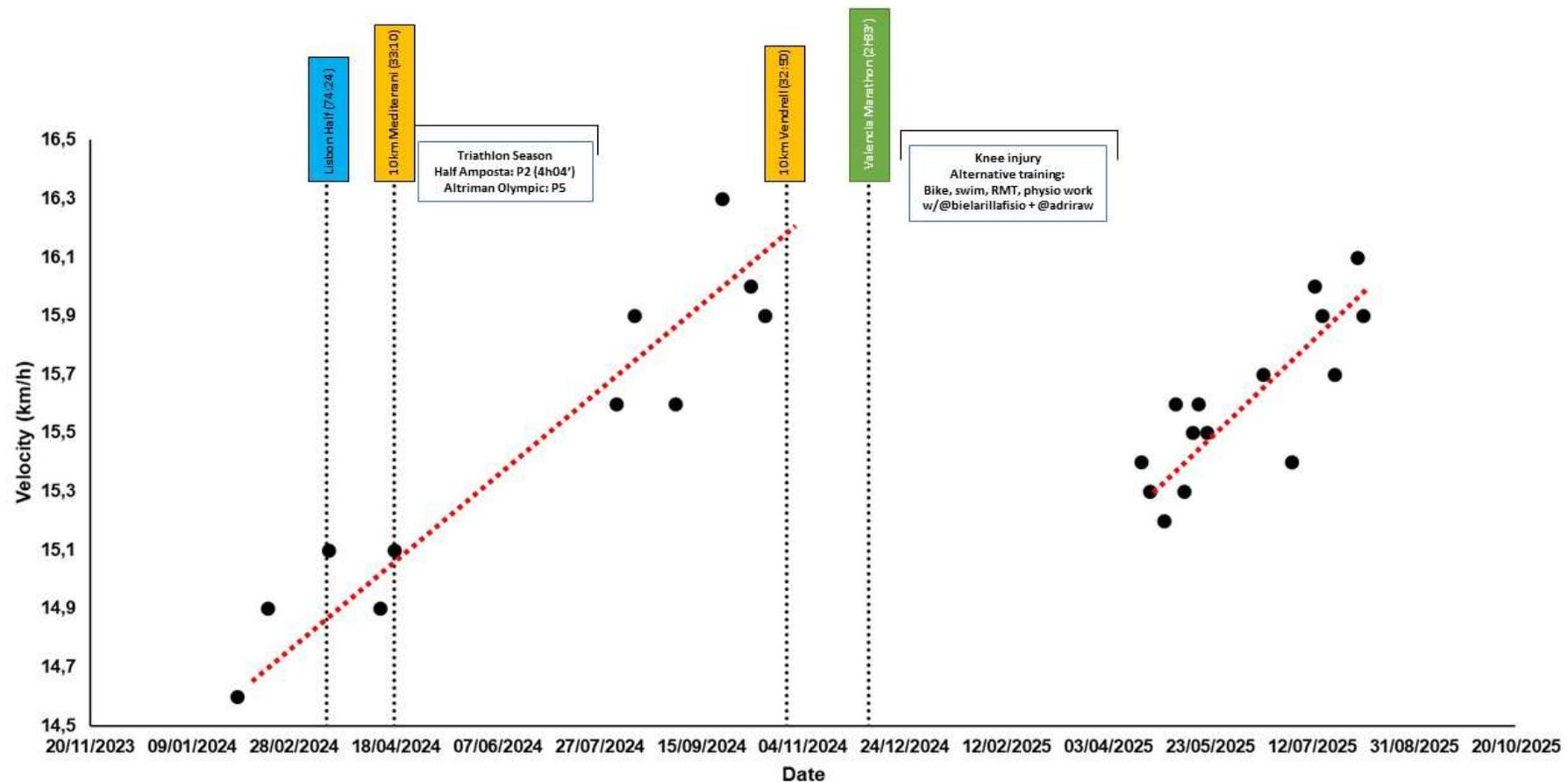
Evaluar mejoras a nivel periférico con NIRS de forma longitudinal





EJEMPLO DE SEGUIMIENTO LONGITUDINAL

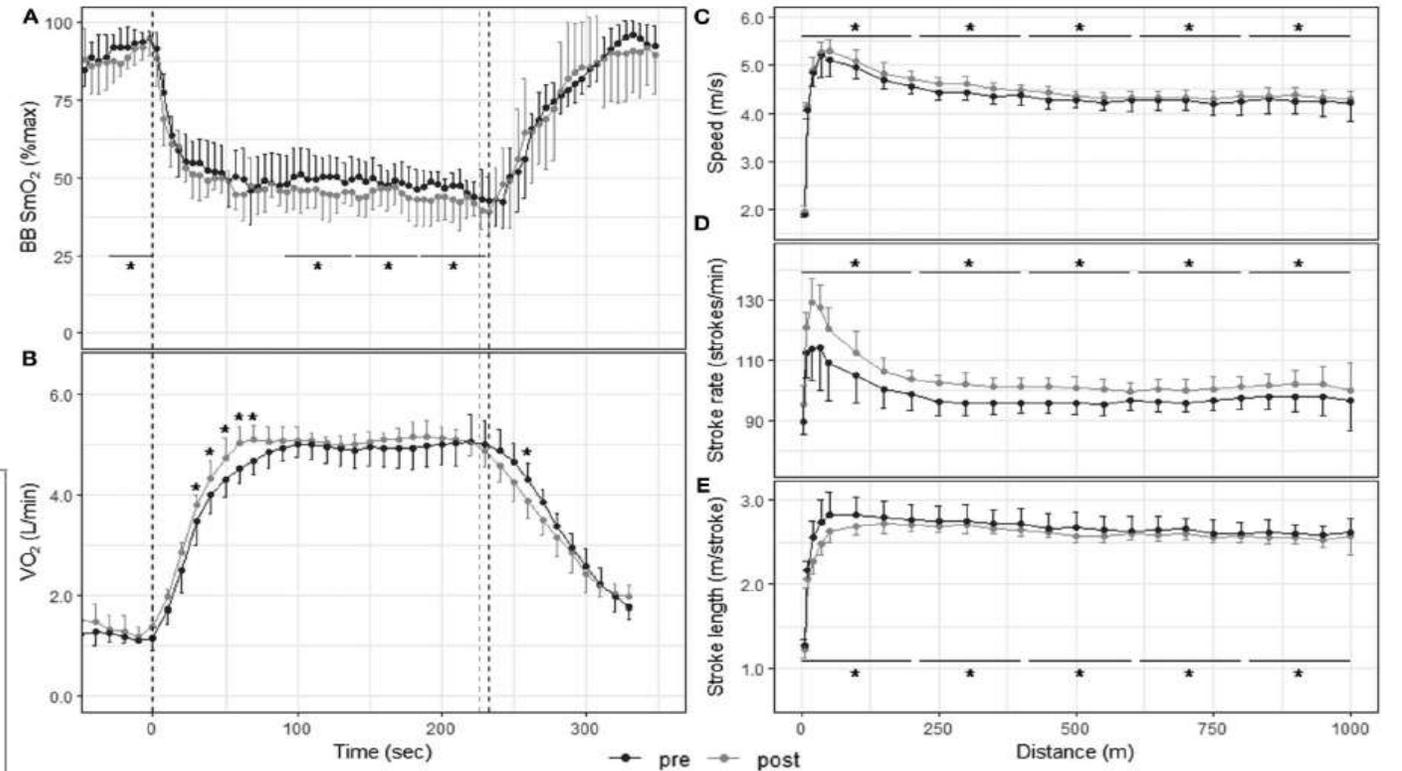
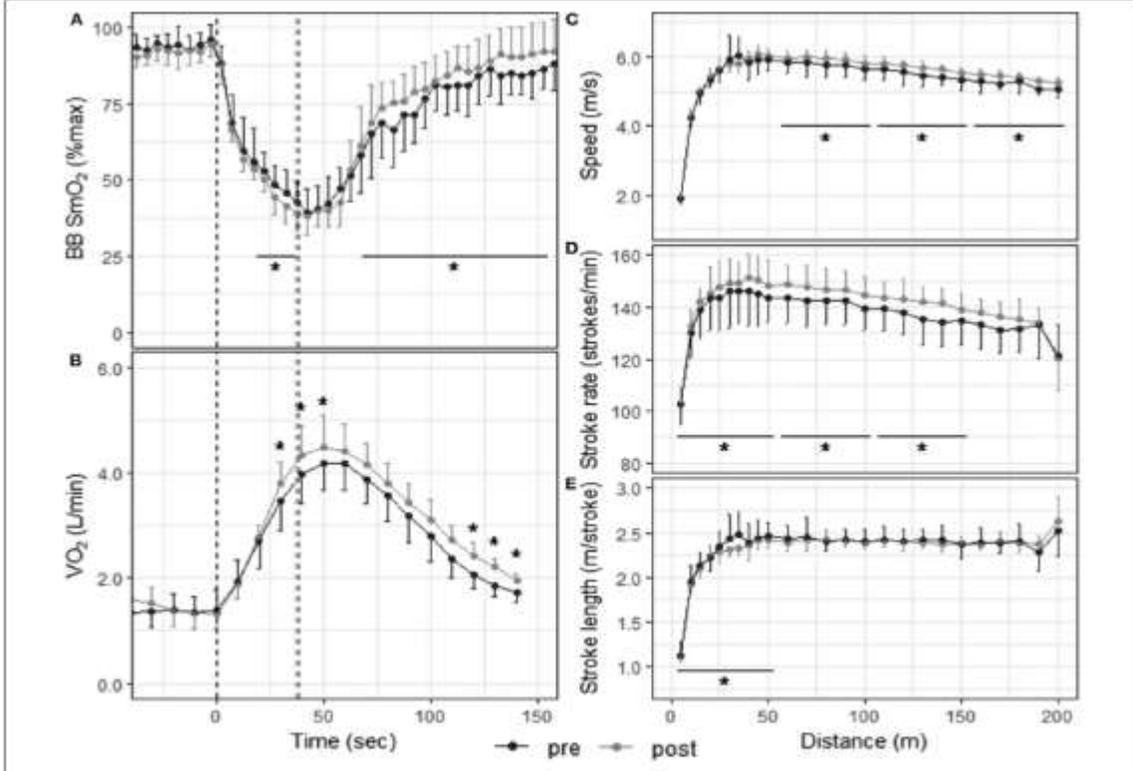
Velocidad en sesiones LT₁



Effect of a 3-Weeks Training Camp on Muscle Oxygenation, $\dot{V}O_2$ and Performance in Elite Sprint Kayakers

Myriam Paquette^{1,2}, François Bieuzen² and François Billaut^{1,2*}

200m



1000m

- Ratio de desaturación durante los primeros 12 s no cambió post entrenamiento.
- Resaturación fue más rápida después del 200m post entrenamiento.
- SmO₂ fue menor en la última fase del 200m y del 1000m post entrenamiento.
- El rendimiento en ambas pruebas aumentó.

Paquette, M., et al. (2020)

SmO_2min

“Dado que a intensidades máximas el suministro de O_2 alcanza su máximo (Q_{max}), una menor saturación mínima de oxígeno en el músculo esquelético (SmO_2min) reflejaría una mayor extracción de oxígeno”.

Jacobs, R. A., et al. (2011)

SmO₂min – estudios de naturaleza transversal

TT mean power (W/kg) was highly associated with BB ΔSmO₂min measured in the incremental test and in the Wingate sprint. In addition, the best physiological predictor of TT mean power was the BB ΔSmO₂min, while BB ΔSmO₂min measured in the Wingate sprint was also the best physiological predictor of a strong MAP. Since

TT potencia media – SmO₂min
($r = -0.998$ $p = 0.002$)

SmO₂min correlacionada
con rendimiento en
canoístas.

($r = -0.5$ to -0.6 $p = < 0.05$)

Characterization of muscle oxygenation response in well-trained handcyclists

Veronica Furno Puglia^{1,2} · Myriam Paquette² · Andreas Bergdahl¹

Muscle Oxygenation Rather Than VO₂max as a Strong Predictor of Performance in Sprint Canoe–Kayak

in International Journal of Sports Physiology and Performance

Click name to view affiliation

Myriam Paquette, François Bieuzen, and François Billaut

DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0077>

Paquette, M., et al. (2020)
Furno Puglia, V., et al. (2024)

SmO₂min – estudios de naturaleza transversal

Los resultados respaldan la posible utilidad de la tecnología NIRS para evaluar la SmO₂min como un marcador no invasivo asociado con el rendimiento deportivo.

Open Access Article

Physiological Predictors of Peak Velocity in the VAM-EVAL Incremental Test and the Role of Kinematic Variables in Running Economy in Triathletes

by Jordi Montraveta ^{1,*}, Ignacio Fernández-Jarillo ^{1,*}, Xavier Iglesias ¹, Andri Feldmann ² and Diego Chaverri ¹

¹ INEFC Barcelona Sports Sciences Research Group (GRCEIB), National Institute of Physical Education of Catalonia (INEFC), University of Barcelona (UB), 08038 Barcelona, Spain

² Institute of Sport Science, University of Bern, 3012 Bern, Switzerland

* Author to whom correspondence should be addressed.

Sports 2025, 13(9), 316; <https://doi.org/10.3390/sports13090316>

| | r | p |
|------------------------------|----------|----------|
| Vpeak – VO ₂ max | 0.76 | 0.007 |
| Vpeak - SmO ₂ min | -0.68 | 0.020 |
| Vpeak - VT1 | 0.82 | 0.002 |
| Vpeak - VT2 | 0.72 | 0.016 |
| Vpeak - RE12 | 0.16 | 0.631 |
| Vpeak - RE16 | 0.54 | 0.083 |

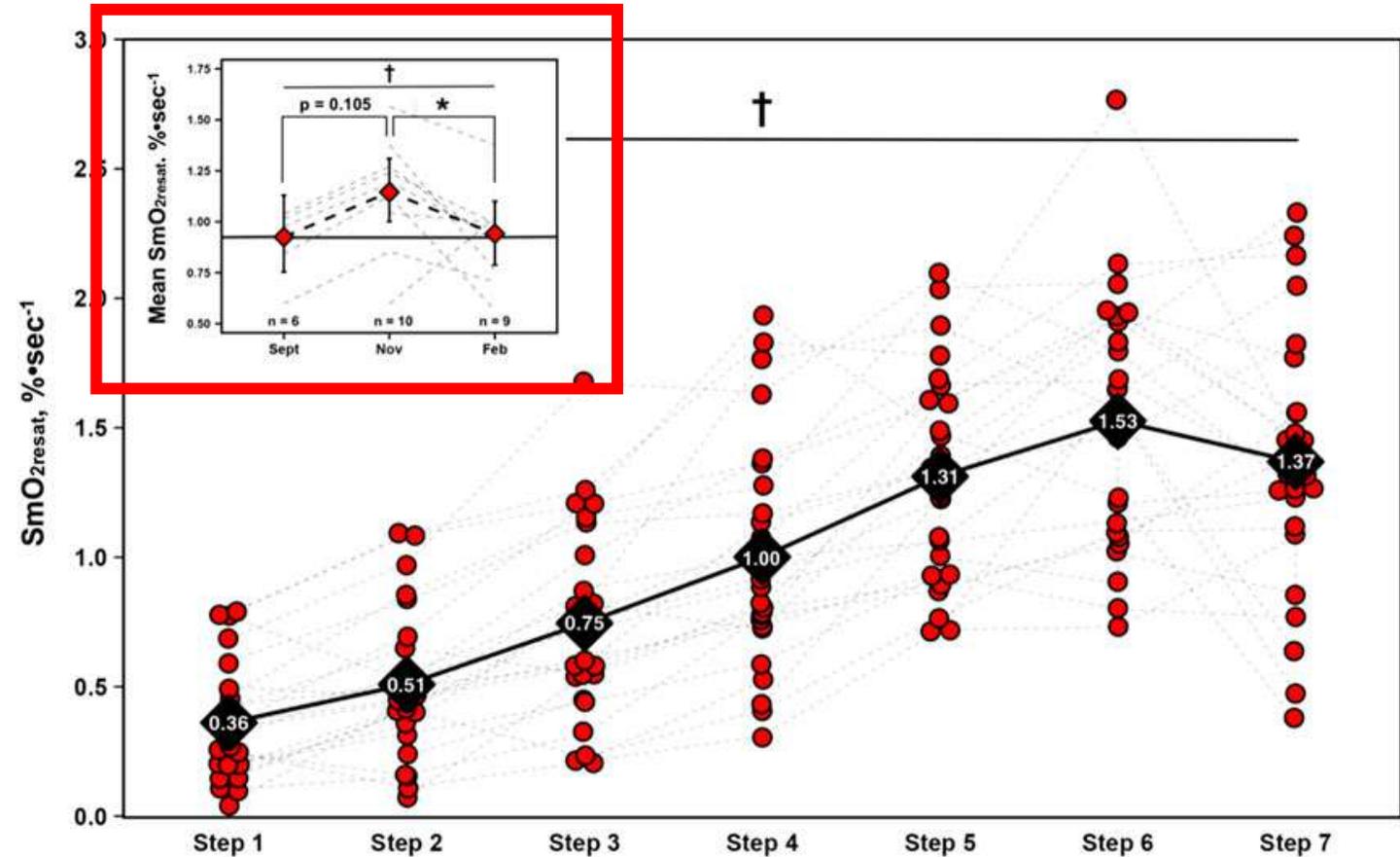
Montraveta, J., et al. (2025)

Resaturación (SmO_2 resat)

Autores apuntan a que monitorizar la resaturación podría aportar información sobre las adaptaciones al proceso de entrenamiento.

IDEAS

- Monitorizar SmO_2 resat media en los intervalos de un step test durante temporada. ¿Más SmO_2 resat se correlaciona con mayor rendimiento?
- Monitorizar SmO_2 resat durante sesiones de intervalos a diferentes intensidades.





INTRODUCCIÓN

FUNDAMENTOS
DE LA
TECNOLOGÍA
NIRS

APLICACIONES
EN CAMPO

CONCLUSIONES

Conclusiones

1. Monitorizar la **carga interna** es imprescindible; **NIRS** ofrece una ventana única al músculo en tiempo real.
2. El **rigor metodológico** es esencial al usar NIRS.
3. ¿Qué aporta a la práctica del entrenamiento?
 - **Control de la intensidad** en intervalos y en terreno ondulado.
 - **Estimación** del tiempo límite a una intensidad dada.
 - **Seguimiento longitudinal** de adaptaciones periféricas (breakpoints, **SmO₂min**, **SmO₂resat**).



MUCHAS GRACIAS POR VUESTRA ATENCIÓN



ignaciofernandezjarillo@outlook.es



Ignacio Fernández Jarillo

