

Article

Efecto de Períodos de Recuperación Activa vs Pasiva Durante el Ejercicio Intermitente de Alta Intensidad Sobre la Oxigenación del Tejido Local en Hombres Sedentarios Mayores de 18-30 Años de Edad

Yuri Kriel, Hugo A. Kerhervé, Christopher D. Askew y Colin Solomon

Recibido: Mayo 30, 2016; **Aceptado:** Septiembre 13, 2016; **Publicado:** Septiembre 27, 2016. **Copyright:** © 2016

RESUMEN

Propósito

El entrenamiento intervalado de alta intensidad (HIIT) ha sido propuesto como un formato tiempo-eficaz de ejercicio para reducir el peso de una enfermedad crónica asociada con el comportamiento sedentario. Los cambios en la utilización del oxígeno al nivel del tejido local durante una sesión aguda de HIIT podrían ser un estímulo primario para los beneficios en la salud asociados con este formato de ejercicio. Los períodos de recuperación del HIIT producen respuestas fisiológicas que ocurren durante la sesión. Se formuló la hipótesis de que en los individuos sedentarios, la utilización de oxígeno local y sistémica sería superior durante el HIIT entremezclado con períodos de recuperación activa, cuando es comparado a períodos de recuperación pasiva.

Métodos

Doce varones sedentarios (promedio \pm SD; edad 23 ± 3 años) completaron tres condiciones en un cicloergómetro: 1) un HIIT con períodos de recuperación pasiva entre cuatro turnos (HIITPASS) 2) un HIIT con períodos de recuperación activa entre cuatro turnos (HIITACT) 3) HIITACT con cuatro turnos de HIIT reemplazados con períodos pasivos (REC). La hemoglobina desoxigenada (HHb) en los músculos vasto externo (VL) y gemelos (GN) y en la corteza pre-frontal (FH), el consumo de oxígeno (VO_2), la potencia y la frecuencia cardíaca (FC), fueron continuamente medidas durante las tres condiciones.

Resultados

Hubo un aumento significativo en la HHb en el VL durante los turnos 2 ($p = 0.017$), 3 ($p = 0.035$) y 4 ($p = 0.035$) en el HIITACT, comparado al HIITPASS. La potencia promedio fue significativamente baja en el HIITACT, comparado al HIITPASS ($p < 0.001$). Hubo un efecto principal significativo para el sitio tanto en HIITPASS ($p = 0.029$) como en HIITACT ($p = 0.005$). No hubo diferencias significativas en el VO_2 y FC entre HIITPASS y HIITACT.

Conclusiones

El aumento en la HHb en el VL y en la potencia promedio inferior durante el HIITACT podría indicar que un mayor nivel de desoxigenación contribuye a una menor energía mecánica en los participantes sedentarios. Las diferencias significativas

en la HHb entre los sitios indican la especificidad de la utilización del oxígeno. **Cita:** Kriel Y, Kerhervé HA, Askew CD, Solomon C (2016) The Effect of Active versus Passive Recovery Periods during High Intensity Intermittent Exercise on Local Tissue Oxygenation in 18 - 30 Year Old Sedentary Men. PLoS ONE 11(9): e0163733. doi:10.1371/journal.pone.0163733 **Editor:** Massimo Sacchetti, Universita degli Studi di Roma 'Foro Italico', ITALY.

INTRODUCCIÓN

El comportamiento sedentario, definido como el no cumplimiento de las recomendaciones de actividad física para el logro de beneficios en la salud, es un factor de riesgo para enfermedades crónicas múltiples [1, 2] y una epidemia global [1, 3-7]. Las recomendaciones de actividad física incluyen un tiempo acumulando de 150-300 minutos de ejercicio de intensidad moderada cada semana [8]. La razón frecuentemente citada para tal incumplimiento es una falta de tiempo [9]. El entrenamiento intervalado de alta intensidad (el HIIT) de un volumen bajo se ha propuesto como un formato del ejercicio tiempo-eficaz para mejorar la adherencia al ejercicio, reduciendo el peso de la enfermedad crónica asociada con el comportamiento sedentario por consiguiente [10]. El efecto beneficioso de intervenciones de HIIT en los marcadores de riesgo de la salud, ha sido bien documentado [11-13]. El HIIT se ha demostrado de ser muy eficaz o más eficaz que intervenciones de ejercicio de intensidad moderada de más duración, para mejorar marcadores específicos del riesgo, como un fitness cardiorespiratorio bajo [11, 14, 15].

Los beneficios de ejercicio regular del HIIT, como un fitness cardiorespiratorio mayor, a los aumentos en el contenido mitocondrial y función [16, 17]. Aunque no se entienden los mecanismos exactos que están vinculados a estos aumentos completamente, es posible que el aumento en la utilización de oxígeno al nivel del tejido local durante una sesión aguda de HIIT sea un estímulo para estas mejoras. Se han evaluado los efectos de una única intervención del HIIT sobre la oxigenación muscular sistémica y locomotora previamente [18, 19]. Sin embargo, estas investigaciones se dirigieron en individuos activos, evaluados sólo en un sitio muscular y usaron medidas de oxigenación en un contexto del rendimiento deportivo [18, 20].

El sitio específico de utilización de oxígeno al nivel del tejido local, puede ser medido usando una espectroscopia de aproximación infrarroja (NIRS, *near infrared spectroscopy*). La NIRS es un método no-invasivo para la medición del cambio en la concentración de oxihemoglobina (O₂Hb) (disponibilidad de oxígeno) y desoxihemoglobina (HHb) (utilización de oxígeno), como medidas de oxigenación a nivel del tejido. La utilización de oxígeno durante el ejercicio ha sido descrita en individuos activos en un único sitio muscular [21] y en músculos que componen el cuádriceps [22, 23]. En individuos activos, en un único sitio muscular, la utilización de oxígeno (como fue indicado por una HHb mayor) es mayor durante los turnos del HIIT cuando se compara a los valores de pre-ejercicio [18, 24]. Sin embargo, la utilización del oxígeno durante el HIIT en individuos sedentarios al nivel del tejido local no ha sido determinada. Es más, es desconocido si la utilización de oxígeno difiere entre los distintos músculos locomotores en una población sedentaria durante el HIIT. La investigación de las respuestas de la utilización de oxígeno en los individuos sedentarios deberá brindar información adicional hasta qué punto la utilización del oxígeno aumenta durante el HIIT en los distintos músculos locomotores, un estímulo potencial para la función mitocondrial mejorada.

Nueve componentes del plan (serie, inter-series, turnos y recuperación: número, duración e intensidad, así como el modo de ejercicio) puede alterarse en el HIIT [25]. Los períodos de recuperación del HIIT son una parte íntegra de la sesión de ejercicio, ya que estos períodos tienen un efecto en las respuestas fisiológicas que ocurren durante la sesión [26]. Las dos formas de recuperación de HIIT frecuentemente adoptadas son la recuperación pasiva y activa. El efecto de los formatos de la recuperación en la oxigenación del tejido local y marcadores del rendimiento ha producido resultados inconsistentes hasta la fecha, con recuperación activa que lleva a un superior [18], bajo [26] o equivalente [24] grado de desoxigenación del músculo local cuando se compara con la recuperación pasiva. Similarmente, se han demostrado resultados inconsistentes cuando se compararon la energía mecánica y la frecuencia cardíaca durante el HIIT incluyendo la recuperación activa o pasiva [26-29]. Variaciones en los protocolos del HIIT usados durante estos proyectos pueden haber contribuido a resultados contradictorios. El efecto de períodos de recuperación activa vs pasiva sobre la utilización del oxígeno durante los turnos del HIIT en sitios específicos del tejido del músculo locomotor y del cerebro, en poblaciones sedentarias, es desconocido.

El objetivo primario de este estudio fue comparar la utilización local (Δ [HHb]) y sistémica (VO₂) de oxígeno, las respuestas de la potencia promedio y de la frecuencia cardíaca durante condiciones de HIIT incluyendo recuperación pasiva o activa. Un objetivo secundario fue comparar la relativa concentración Δ [HHb] entre los sitios de tejido del músculo local y del cerebro durante el ejercicio de HIIT.

Se formuló la hipótesis de que en los individuos sedentarios jóvenes, durante los turnos de ejercicio de alta intensidad que se entremezclan con períodos de recuperación activa, cuando comparado a los períodos de recuperación pasiva, el VO₂, la Δ [HHb], la potencia promedio y la frecuencia cardíaca serían superiores y que el aumento en la Δ [HHb] durante el ejercicio de HIIT, sería superior en los sitios del tejido muscular local comparado al sitio del cerebro

MÉTODOS

Declaración de Ética

Este proyecto de investigación fue aceptado por el comité de ética de investigación humana de la University of the Sunshine Coast (S/13/472). Los participantes recibieron una hoja de información acerca del proyecto de investigación antes de dar el consentimiento informado por escrito.

Diseño experimental

El proyecto consistió en tres sesiones de evaluación, una para cada una de las tres condiciones del proyecto. El ejercicio se hizo en un ergómetro de pedaleo.

Todas las sesiones de evaluación estaban separadas por tres a siete días para impedir un efecto de la carga potencial entre las condiciones y para minimizar el efecto de cualquier variable desconcertante posible entre las sesiones de evaluación. En este artículo, cada período de ejercicio de alta intensidad de 30 segundos es definido como un turno. Cada protocolo completo consistente en cuatro turnos x 30 segundos de ejercicio de alta intensidad, separados por períodos de 2 minutos de recuperación, es definido como una condición.

Las tres condiciones eran: 1) un protocolo de ejercicio de intervalos de alta intensidad con períodos de recuperación pasiva entre cada turno de HIIT (HIITPASS); 2) un protocolo de ejercicio de intervalos de alta intensidad con períodos de recuperación activa entre cada turno de HIIT (HIITACT); 3) un protocolo en el que solamente los períodos de recuperación activa eran completados y se reemplazaron los turnos de HIIT con períodos pasivos (REC) para cuantificar el efecto de la recuperación activa. Las condiciones fueron aleatorizadas y siguieron un diseño cruzado para controlar un posible efecto del orden. Las condiciones y el momento de las mediciones se ilustran en la Fig. 1.

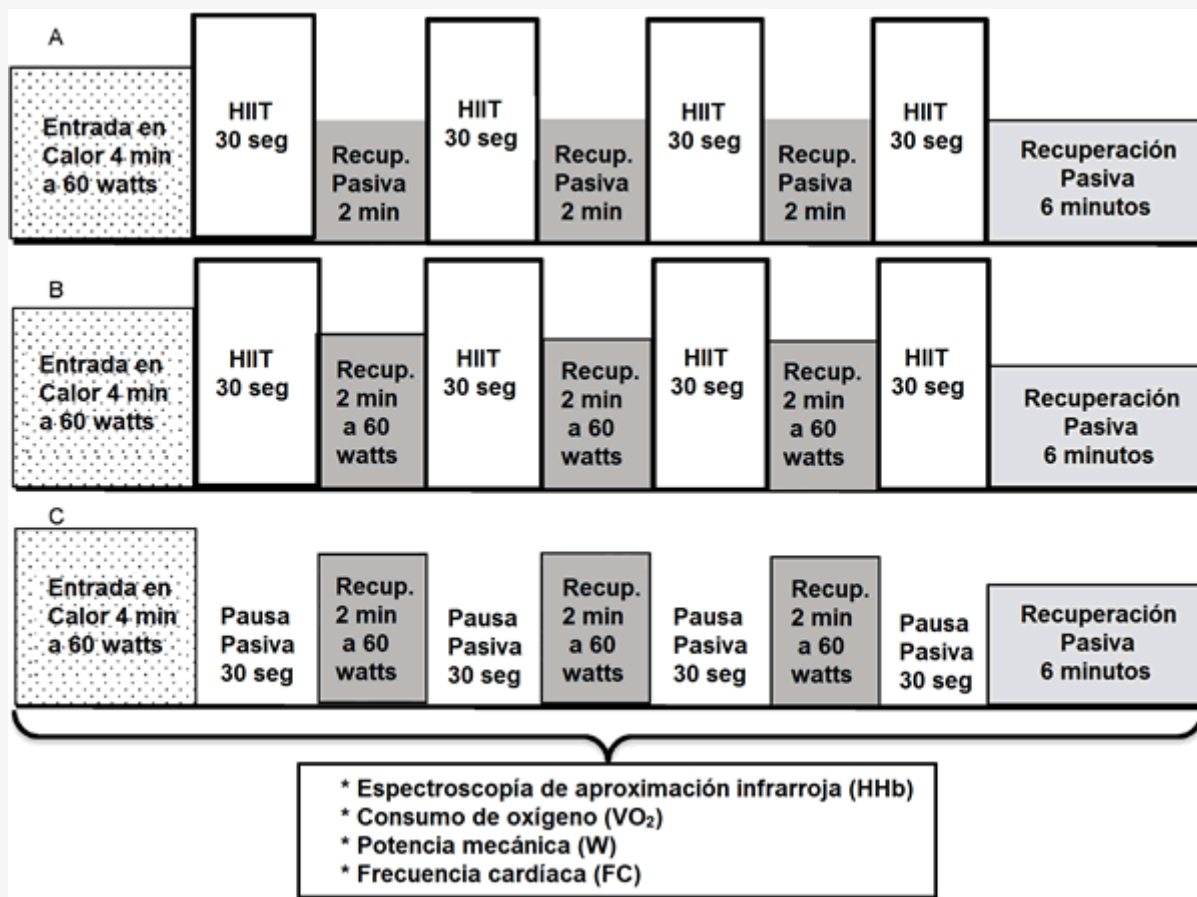


Figura 1. La estructura y momento de las mediciones de las tres condiciones.

(A) HIITPASS. (B) HIITACT. (C) REC.

Participantes

El grupo participante consistió en doce varones de la comunidad universitaria que reunían los criterios de inclusión de 18-30 años de edad; completando actualmente menos de 150 minutos de intensidad moderada o 75 minutos de actividad de intensidad vigorosa por semana; presentando ninguna enfermedad cardiovascular y metabólica; sin tomar ninguna medicación; no tener problemas ortopédicos u de salud conocida que podían empeorarse por la participación, o no cumplir la realización del proyecto. Las características físicas descriptivas de estos participantes están en la Tabla 1.

Tabla 1. Las características de los participantes.

Altura (cm)	176.3 ± 8.3
Peso (kg)	78.19 ± 13.82
Edad	23 ± 3
Skinfold del Vasto Lateral (mm)	12.75 ± 5.88
Skinfold del Gemelo (mm)	11.00 ± 3.25
FVC (L)	5.40 ± 0.77
FVC % pred (%)	104.7 ± 10.2
FEV ₁ (L)	4.54 ± 0.72
FVC ₁ % pred (%)	104 ± 10.9
Los datos son promedios (±SD) (n = 12)	

PROCEDIMIENTOS Y EQUIPAMIENTO

Procedimientos de registro.

En la primera sesión de evaluación, los participantes completaron cuestionarios de riesgo y de historia médica y un registro de la actividad física. Para la actividad física, los participantes registraron la duración, la intensidad y el tipo de actividad en la que ellos habían completado los siete días precedentes así como la actividad diaria emprendida durante una semana promedio durante los tres meses últimos. Este registro de la actividad física fue usado para asegurar que los recientes niveles de actividad de participantes estaban dentro de la definición de sedentario para los propósitos de este proyecto (un individuo que no logra las recomendaciones mínimas actuales para la participación del ejercicio para alcanzar beneficios en la salud) [30]. Los participantes se abstuvieron de realizar cualquier ejercicio en las 24 horas previas a cada sesión y no ingerir ni cafeína, ni alcohol o ni una comida grande en las cuatro horas previas a una sesión. Se les pidió a los participantes que se aseguraran que ellos estuvieran alimentados adecuadamente y se hidrataran en el día de la evaluación y esto fue confirmado en cada sesión de evaluación. Para asegurar una función pulmonar normal de reposo, los participantes completaron un test de la función pulmonar (Spirolab II, Medical International Research, Rome, Italia) siguiendo los procedimientos estándar [31] (Tabla 1). Los participantes fueron caracterizados por altura, masa y espesor del tejido adiposo (ATT, *adipose tissue thickness*) (Tabla 1). Las mediciones del ATT, realizadas por el mismo investigador en cada caso usando calibres de skinfold (Harpenden, British Indicators Ltd, Burgess Hill, Reino Unido) y procedimientos estándar, aseguraban que los cambios específicos en los sitios de la oxigenación ocurrían dentro del tejido muscular en lugar de la piel y tejido adiposo.

Condiciones de ejercicio.

Antes de la primera sesión de ejercicio, los participantes fueron familiarizados con el protocolo de Wingate de evaluación, con el cicloergómetro Velotron (Racermate, Seattle WA, EE.UU.) y con el proceso de sostener una cadencia constante. La altura del asiento del cicloergómetro y la posición del manubrio fueron ajustadas para cada participante y replicado para las siguientes sesiones de ejercicio.

El protocolo del HIIT utilizado durante dos de las tres condiciones (HIITPASS y HIITACT) fue adaptado de protocolos usados poblaciones deportivas, recreativamente activas y desentrenadas. [20, 24, 32-36].

Cada condición consistió en un período de recolección de datos básicos iniciales de 3 minutos cuando el participante permanecía estacionario sobre el cicloergómetro. La evaluación del ejercicio empezó con un período de precalentamiento de 4 minutos. El período de precalentamiento consistió en cada participante pedalear contra una resistencia fija de 60 Vatios (W) a una cadencia de 60 vueltas por minuto (RPM). El precalentamiento fue seguido por cuatro turnos de 30 segundos de ejercicio de alta intensidad en las condiciones HIITPASS y HIITACT, con períodos de recuperación de 2 minutos separados cada uno de turnos de alta intensidad. Durante la condición de REC, los cuatro turnos de ejercicio de alta intensidad fueron reemplazados por períodos de descanso pasivo. Cada participante fue pedido de aumentar la cadencia a un máximo durante cinco segundos inmediatamente precedentes a cada turno de HIIT.

La resistencia (0.075kg por kilogramo de peso corporal), que automáticamente se aplicaba al piñón del ergómetro al comienzo de cada turno de HIIT, fue utilizada durante otros protocolos HIIT Wingate que involucran poblaciones adultas

desentrenadas [37]. La potencia durante los turnos del HIIT era determinada por el esfuerzo del participante. Se les solicitó a los participantes que dieran un esfuerzo máximo al comienzo de cada turno, usando la sugerencia a 'darle tan duro como pueda.' Se alentó a los participantes verbalmente con frases estandarizadas durante todos los turnos de ejercicio en un intento de asegurar un esfuerzo máximo. Durante los períodos de recuperación pasiva de la condición HIITPASS, se les dijo a los participantes que se sentaran lo más quietos posible con los pedales de la bicicleta en una posición horizontal relajada. Durante los períodos de recuperación activa de las condiciones HIITACT y REC, se les pidió a los participantes que pedalearan a una cadencia de 60 RPM contra una resistencia de 60 W (aproximadamente 30-40% del $VO_{2\text{máx}}$) [38], una intensidad de recuperación activa demostrada de promover una remoción óptima de metabolitos [39, 40]). En la realización del cuarto y último turno, hubo un período de recuperación pasiva de 6 minutos.

Se les dijo a los participantes que permanecieran sentados a lo largo de cada condición totalmente en un intento de reducir el movimiento del artefacto en los datos de la NIRS y permitir una consistencia en los patrones de reclutamiento muscular y, de ahí, los datos de la potencia.

Oxigenación de los tejidos

Changes in local tissue oxygenation were measured continuously during rest, exercise and recovery. The terms oxygenated haemoglobin (O2Hb), and deoxygenated haemoglobin (HHb) each include the combined signal of Hb and myoglobin (Mb). The changes in the relative concentration of O2Hb ($\Delta[\text{O2Hb}]$) and HHb ($\Delta[\text{HHb}]$) as a function of time were measured using a Near Infrared Spectroscopy (NIRS) system (2 x PortaMon and 2 x Portalite devices, Artinis Medical Systems BV, Zetten, Netherlands). This system allows for non-invasive and simultaneous measurement of these variables at multiple sites.

Los cambios en la oxigenación del tejido local fueron continuamente medidos durante el reposo, el ejercicio y la recuperación. Los términos hemoglobina oxigenada (O2Hb), y la hemoglobina desoxigenada (HHb) cada una incluye la señal combinada de Hb y de mioglobina (Mb). Los cambios en la concentración relativa de O2Hb ($\Delta[\text{O2Hb}]$) y HHb ($\Delta[\text{HHb}]$) como función del tiempo fueron medidos usando un sistema de espectroscopia infrarroja de aproximación (NIRS) (2 x PortaMon and 2 x Portalite devices, Artinis Medical Systems BV, Zetten, Países Bajos). Este sistema permite una medición no invasiva y simultánea de estas variables en sitios múltiples.

El sistema de NIRS usa una forma modificada de la ley de Beer-Lambert para calcular los cambios en O2Hb y HHb usando dos longitudes de onda continuas de luz infrarroja de aproximación (763 y 855nm). Un factor fijo diferencial de la longitud de la trayectoria (DPF) de 4 fue usado para el tejido muscular y un DPF dependiente de la edad, fue usado para el tejido cerebral en base a las recomendaciones del fabricante.

Los dispositivos de NIRS (que pesan 84 gramos con dimensiones de 83 x 52 x 20 mm) fueron puestos en la piel afeitada inferior del vientre muscular de dos músculos locomotores de la pierna izquierda, el vasto externo (VL) y gemelos (GN), y un músculo involucrado en la respiración: el 7° músculo intercostal externo (IC) y el área de la frente inferior de la corteza cerebral pre-frontal (FH) aproximadamente 3 cm a la izquierda de la línea del medio de la frente e inmediatamente sobre la cresta supra-orbital (entre Fp1 y F3, según el sistema EEG 10-20 internacional modificado). La colocación de los dispositivos de NIRS se hizo con referencia a las prominencias anatómicas aceptados como fue detallado en experimentos previos para asegurar la consistencia de la medición, [18, 24, 41-43]. La ubicación de un dispositivo era marcada con una pluma de punta de fieltro en la primera sesión de evaluación y se les dijo a los participantes que mantuvieran estas marcas entre las sesiones. Cada dispositivo fue asegurado usando procedimientos estandarizados para protegerse contra la contaminación de luz del ambiente e impedir el movimiento del artefacto debido al desprendimiento del dispositivo. Durante toda la evaluación, el mismo dispositivo fue utilizado en el mismo sitio de medición para cada participante. El sistema de NIRS fue conectado vía Bluetooth a una computadora para la adquisición de datos y el análisis de datos subsecuente.

Para este proyecto, tanto la $\Delta[\text{O2Hb}]$ como la $\Delta[\text{HHb}]$ fueron medidas, sin embargo, sólo se presentan los valores de la $\Delta[\text{HHb}]$. Los datos de la $\Delta[\text{HHb}]$ son potencialmente inalterados por los cambios en la perfusión, volumen sanguíneo o concentración de la hemoglobina arterial [44-46]. Los datos de la $\Delta[\text{O2Hb}]$ son afectados por la condensación muscular y los cambios en el flujo sanguíneo y volumen [47], sobre todo durante los cambios rápidos y sustanciales en estas variables que acompañan los turnos del HIIT [18]. Usando la $\Delta[\text{HHb}]$ es consistente con otra investigación que utilizó mediciones de NIRS para investigar el HIIT y el ejercicio en general [18, 24] permitiendo hacer comparaciones entre este proyecto y la investigación previa, por consiguiente. Los datos de NIRS recogidos en el sitio del IC incluyeron el artefacto de movimiento grueso a lo largo de la evaluación, disimulando la señal de la NIRS. El artefacto de movimiento grueso también estuvo presente en los datos de la NIRS recogidos en los sitios del VL y de los GN durante los períodos de recuperación pasiva de la condición de HIITPASS. Por lo tanto, los datos recogidos en el sitio de CI y de los datos del período de recuperación de otros sitios no fueron incluidos en el análisis más amplio. La variabilidad inter-individual notada en los datos de la $\Delta[\text{HHb}]$ (rango 0.73-32.56 μM) se presenta para el VL en HIITACT (Fig. 2).

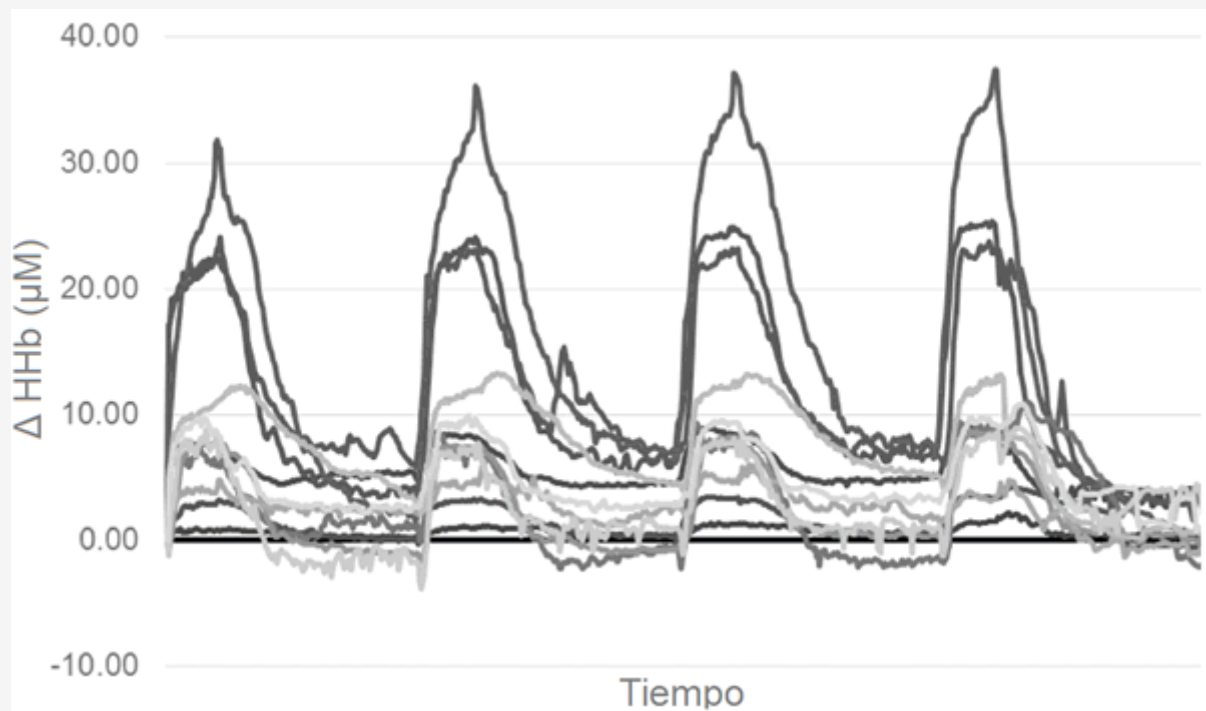


Figura 2. Cambio relativo Individual de la línea de base de la hemoglobina desoxigenada (HHb) durante la condición de HIITACT. ($n = 12$).

Consumo de oxígeno sistémico (VO₂).

A fin de cuantificar la utilización de oxígeno sistémica en respuesta a las tres condiciones, los datos del consumo de oxígeno sistémico fueron continuamente medido durante el reposo, ejercicio y períodos de recuperación usando un análisis de gases de circuito abierto con un sistema de espirometría (Parvo Medics, Sandy UT EE.UU.) y una boquilla de recolección de gases estándar (Hans Rudolph, Kansas, EEUU). Se usaron calibración y métodos estandarizados [48].

Potencia mecánica.

La potencia mecánica era medida durante las fases de pedaleo de cada condición usando unmetro-potencia SRM 'Science' (SRM, Julich, Alemania). Antes de cada sesión de evaluación, la unidad de SRM se calibró según las características técnicas del fabricante.

Frecuencia cardíaca (FC).

Para cuantificar la intensidad del ejercicio durante todas las condiciones de ejercicio, un monitor de frecuencia cardíaca (RS400, Polar Electro, Kempele, Finlandia) fue usado para medir los datos de la frecuencia cardíaca durante el reposo, y los períodos de ejercicio y recuperación.

Cálculo de los datos y análisis estadístico.

Todos los datos de la NIRS fueron reunidos a una frecuencia de 10 Hz y normalizadas utilizando una media móvil de 10 puntos antes de promediarlo a períodos de 1 segundo. Debido a que los datos de la HHb que son una medida de cambio a partir de un valor de cero básico arbitrariamente asignado, los datos de la NIRS se expresan como unidades de cambio (μMol) del valor promedio de los 30 segundos de los datos básicos que preceden al comienzo dle ejercicio ($\Delta[\text{HHb}]$). Para determinar entre la confiabilidad del test de los datos de la HHb a partir del sistema de la NIRS, la confiabilidad absoluta (Error Típico: VL = 0.4, GN = 0.8, FH = 0.6) de los datos básicos para cada sitio fue usado. Es más, la investigación previa ha demostrado que el método de la NIRS provee una confiabilidad aceptable [49, 50]. Se promediaron los datos del VO₂ en períodos de 5 segundos en la preparación para un análisis más amplio, aunque se promediaron los datos de la potencia mecánica y los datos de la FC en intervalos de 1 segundo. Los datos de NIRS, FC, VO₂ y de la potencia fueron luego alineados en el tiempo y los lapsos de tiempo de los datos correspondientes a los cuatro turnos de 30 segundos de HIIT, fueron identificados. Los valores promedio de 30 segundos luego fueron calculados para todas las variables dependientes para cada turno de HIIT, manteniendo un único valor por turno para el análisis estadístico.

Estadística.

Se realizaron tests estadísticos usando el software IBM SPSS Estadística (versión 22, Corporación de IBM, Armonk NY, EE.UU.). Los datos fueron inicialmente registrados para la normalidad de distribución usando un test de Shapiro-Wilk. Un análisis de medidas repetidas de variación de 2 factores (ANOVA) fue usado para analizar el efecto de la condición y del turno sobre las variables dependientes de VO₂, FC y potencia mecánica. Un ANOVA de medidas repetidas de 3 factores fue usado para analizar el efecto de condición, turno y sitio sobre la variable dependiente Δ [HHb]. El test de W de Mauchly fue usado para evaluar la esfericidad para cada variable dependiente. Para aquellas variables que sobrepasaban la suposición de esfericidad, los grados de libertad fueron ajustados usando la corrección de Greenhouse-Geisser si la estimación de esfericidad era (ϵ) <0.75. Si ϵ >0.75 el ajuste de Huynh-Feldt era usado y la significancia reevaluada. Si un efecto principal significativo era identificado, un test post hoc de Bonferroni era usado para hacer comparaciones por pares. Todas las variables se presentan como desviación estándar \pm media (SD). Para todos los análisis estadísticos, un valor de *P* de <0.05 era aceptado como el nivel de significación

RESULTADOS

Oxigenación de los tejidos

Para la Δ [HHb] promedio de todas las condiciones, sitios y turnos combinados, hubo un efecto principal para el sitio ($p = 0.003$, $F = 7.493$), con diferencias significativas encontradas entre los sitios de FH y del VL ($p = 0.025$) y una diferencia casi significativa entre los sitios de GN y del VL ($p = 0.056$). También hubo un efecto principal para la condición ($p < 0.001$, $F = 20.899$), sin embargo, ninguna diferencia significativa se encontró entre las dos condiciones del HIIT. Hubo interacciones de sitio x condición ($p = 0.016$) y de turno x sitio ($p = 0.002$).

Para la media Δ [HHb] para cada condición, hubo un efecto principal para el sitio para HIITPASS [($p = 0.029$, $F = 4.346$) FH = 1.97 ± 2.69 μ M, GN = 4 ± 4.46 μ M, VL = 6.97 ± 5.42 μ M] y para HIITACT [($p = 0.005$, $F = 10.014$) FH = 1.81 ± 2.65 μ M, GN = 4.44 ± 3.75 μ M, VL = 10.722 ± 8.48 μ M] con diferencias significativas encontradas entre FH y VL ($p = 0.018$) y GN y VL ($p = 0.035$) para HIITACT. Hubo interacciones para sitio x tiempo para HIITPASS ($p = 0.001$) y para HIITACT ($p = 0.042$). No se encontraron diferencias significativas para REC [FH = -0.28 ± 1.16 μ M, GN = -0.64 ± 2.39 μ M, VL = 0.22 ± 3.38 μ M].

En la frente (FH).

Para la FH hubo un efecto principal en la Δ [HHb] promedio, sin embargo, para la condición, ninguna diferencia significativa se encontró entre las dos condiciones del HIIT: [($p = 0.002$, $F = 8.513$) HIITPASS 1.97 ± 2.69 μ M; HIITACT 1.8 ± 2.65 μ M; REC -0.27 ± 1.16 μ M]. Hubo una interacción para condición x turno ($p = 0.003$).

Para la Δ [HHb] promedio para cada turno (Fig. 3, panel A), se encontraron diferencias entre las condiciones para el Turno 2 ($p = 0.006$, $F = 6.504$), Turno 3 ($p = 0.003$, $F = 7.845$) y Turno 4 ($p < 0.001$, $F = 12.758$), sin embargo, ninguna diferencia significativa se encontró entre las dos condiciones del HIIT. Para la Δ [HHb] promedio dentro de las condiciones, hubo aumentos significativos a largo de los turnos, con valores aumentando por más tiempo en las condiciones HIITPASS ($p = 0.003$, $F = 9.733$) y HIITACT ($p = 0.007$, $F = 8.511$).

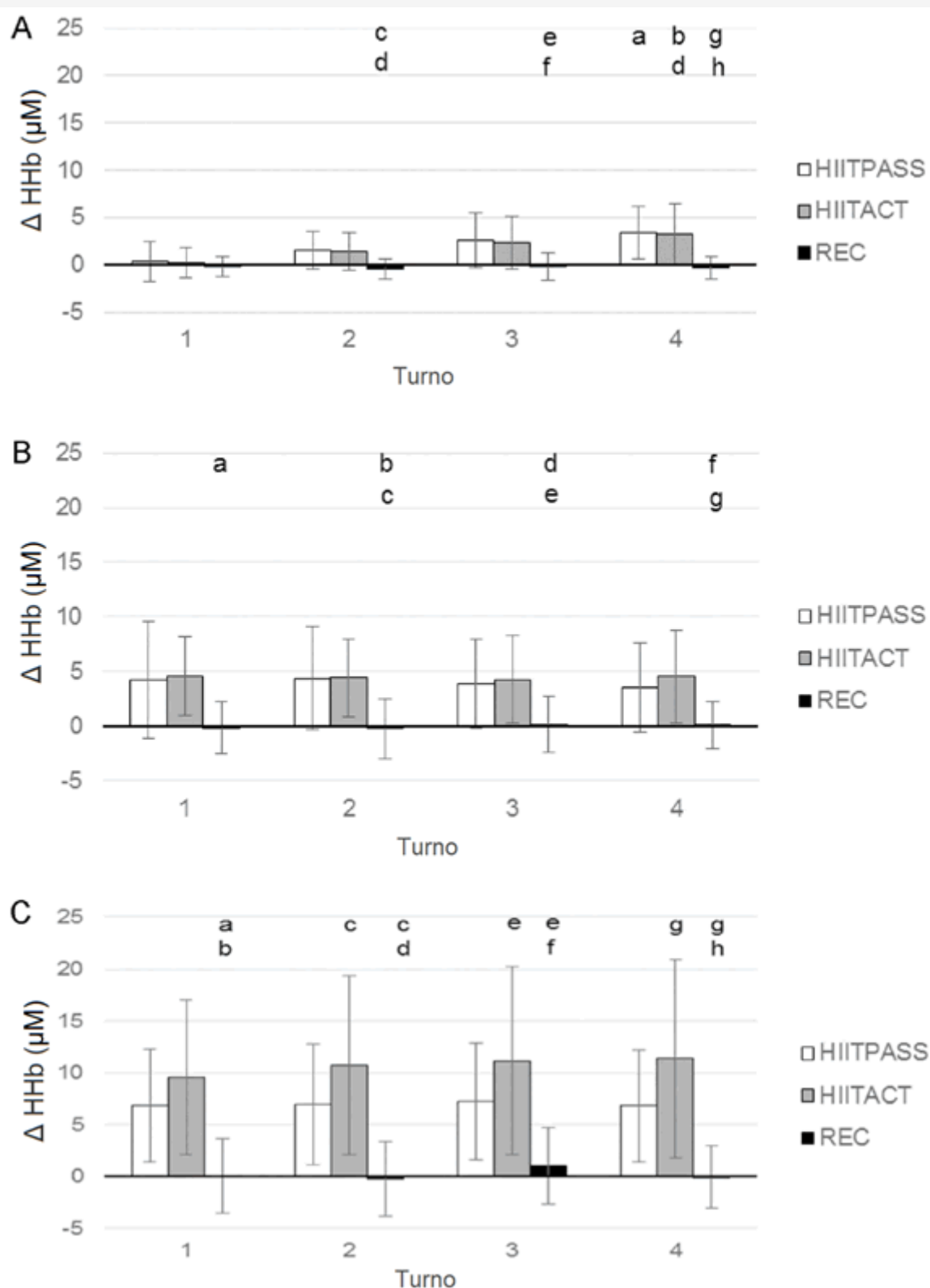


Figura 3. Cambio relativo desde la línea de base de la concentración de hemoglobina desoxigenada (HHb) durante los cuatro turnos de las tres condiciones.

(A) FH. a = significativamente diferente a HIITPASS, turno 1; b = significativamente diferente a HIITACT, turno 1; c = significativamente diferente a HIITPASS, turno 2; d = significativamente diferente a HIITACT, turno 2; e = significativamente diferente a HIITPASS, turno 3; f = significativamente diferente a HIITACT, turno 3; g = significativamente diferente a HIITPASS, turno 4; h = significativamente diferente a HIITACT, turno 4. (B) GN. a =

significativamente diferente a HIITACT turno 1; b = significativamente diferente a HIITPASS, turno 2; c = significativamente diferente a HIITACT turno 2; d = significativamente diferente a HIITPASS, turno 3; e = significativamente diferente a HIITACT turno 3; f = significativamente diferente a HIITPASS, turno 4; g = significativamente diferente a HIITACT, turno 4. (C) VL. a = significativamente diferente a HIITPASS, turno 1; b = significativamente diferente a HIITACT, turno 1; c = significativamente diferente a HIITPASS, turno 2; d = significativamente diferente a HIITACT, turno 2; e = significativamente diferente a HIITPASS, turno 3; f = significativamente diferente a HIITACT, turno 3; g = significativamente diferente a HIITPASS, turno 4; h = significativamente diferente a HIITACT, turno 4. Los datos son los promedios \pm SD. ($p > 0.05$).

Gemelos (GN).

Para los GN hubo un efecto principal en la Δ [HHb] promedio, sin embargo, para la condición, no hubo ninguna diferencia significativa entre las dos condiciones del HIIT: [($p < 0.001$, $F = 11.911$) HIITPASS $4.00 \pm 4.46 \mu\text{M}$; HIITACT $4.4 \pm 3.75 \mu\text{M}$; REC $-0.06 \pm 2.39 \mu\text{M}$]. No hubo ninguna interacción significativa para condición x turno.

Para la Δ [HHb] promedio para cada turno (Fig. 3, panel B), se encontraron diferencias entre las condiciones para el Turno 1 ($p = 0.006$, $F = 9.270$), Turno 2 ($p < 0.001$, $F = 11.339$), Turno 3 ($p = 0.001$, $F = 9.475$) y Turno 4 ($p < 0.001$, $F = 12.765$). Sin embargo, ninguna diferencia significativa se encontró entre las dos condiciones del HIIT. Para la Δ [HHb] promedio dentro de las condiciones, ninguna diferencia significativa se encontró a lo largo de los turnos.

Vasto lateral (VL).

Para el VL, hubo un efecto principal en la Δ [HHb] promedio por condición: [($p = 0.003$, $F = 13.060$) HIITPASS $6.97 \pm 5.42 \mu\text{M}$; HIITACT $10.72 \pm 8.48 \mu\text{M}$; REC $0.22 \pm 3.38 \mu\text{M}$]. No hubo ninguna interacción significativa para condición x turno.

Para la Δ [HHb] promedio para cada turno (Fig. 3, panel C), se encontraron diferencias entre las condiciones para el Turno 1 ($p = 0.002$, $F = 14.835$), Turno 2 ($p = 0.003$, $F = 12.968$), Turno 3 ($p = 0.006$, $F = 10.587$) y Turno 4 ($p = 0.004$, $F = 12.575$) con diferencias significativas encontradas entre las dos condiciones del HIIT. Para la Δ [HHb] promedio dentro de las condiciones, no hubo diferencias significativas a lo largo de los turnos.

Consumo de oxígeno sistémico

Para el VO_2 promedio, hubo un efecto principal por la condición [($p < 0.001$, $F = 161.601$)], sin embargo, ninguna diferencia significativa se encontró entre las dos condiciones del HIIT [HIITPASS $29.6 \pm 3.26 \text{ ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$; HIITACT $31.4 \pm 4.53 \text{ ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$; REC $12.3 \pm 1.61 \text{ ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$]. No hubo ninguna interacción significativa para condición x turno.

Para el VO_2 promedio para cada turno (Fig. 4, panel A), se encontraron diferencias entre las condiciones para el Turno 1 ($p < 0.001$, $F = 491.444$), Turno 2 ($p < 0.001$, $F = 161.961$), Turno 3 ($p < 0.001$, $F = 77.016$) y Turno 4 ($p < 0.001$, $F = 72.269$), sin embargo, ninguna diferencia significativa se encontró entre las dos condiciones del HIIT. Para el VO_2 promedio dentro de las condiciones, ninguna diferencia significativa se encontró a lo largo de los turnos, con valores permaneciendo relativamente similares por más tiempo.

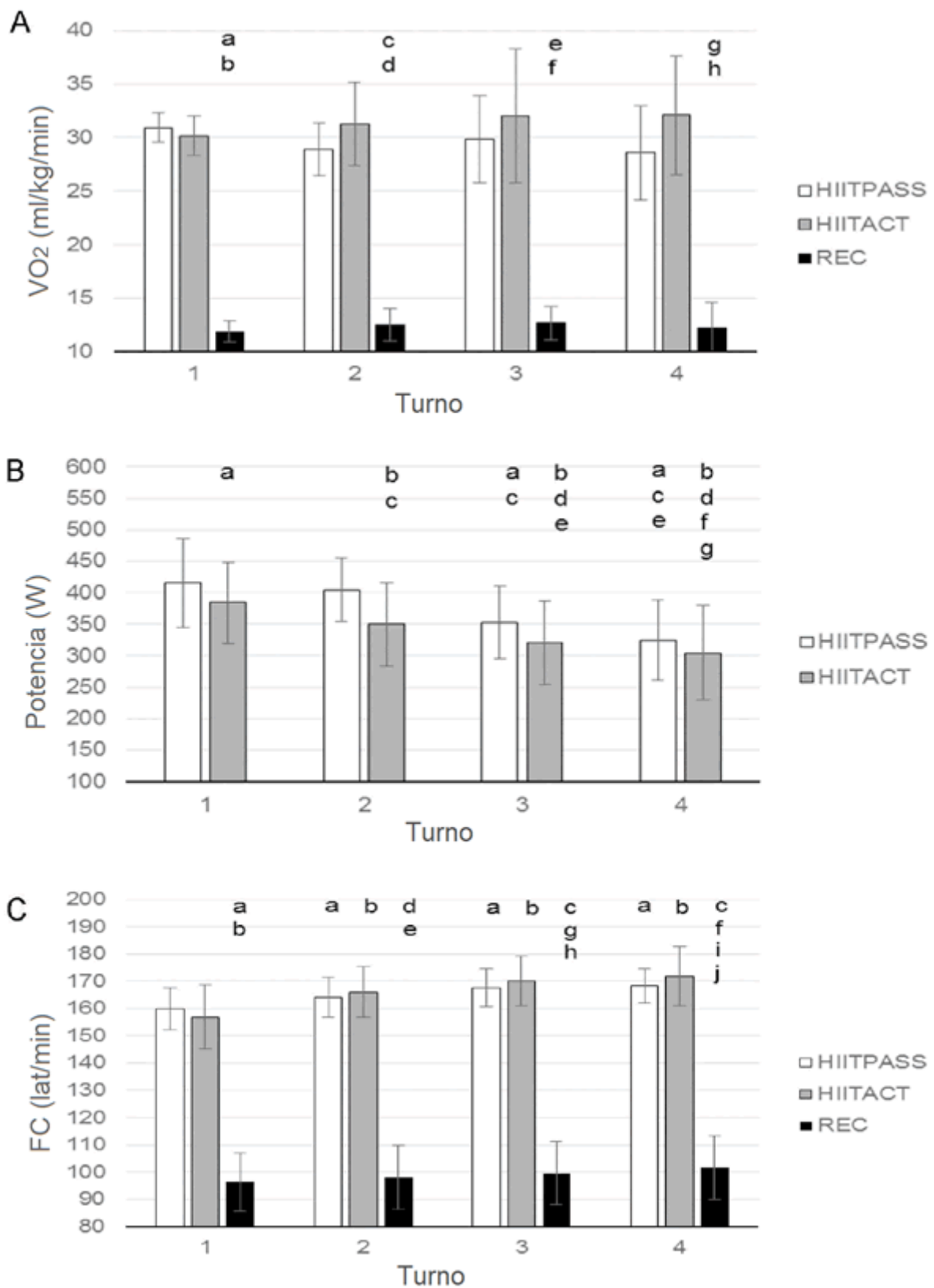


Figura 4. El consumo de oxígeno, la potencia mecánica y la frecuencia cardíaca durante los cuatro turnos de las tres condiciones.

(A) VO₂. a = significativamente diferente a HIITPASS, turno 1; b = significativamente diferente a HIITACT, turno 1; c = significativamente diferente a HIITPASS, turno 2; d = significativamente diferente a HIITACT, turno 2; e = significativamente diferente a HIITPASS, turno 3; f = significativamente diferente a HIITACT, turno 3; g =

significativamente diferente a HIITPASS, turno 4; h = significativamente diferente a HIITACT, turno 4. (B) Potencia mecánica. a = significativamente diferente a HIITPASS, turno 1; b = significativamente diferente a HIITACT, turno 1; c = significativamente diferente a HIITPASS, turno 2; d = significativamente diferente a HIITACT, turno 2; e = significativamente diferente a HIITPASS, turno 3; f = significativamente diferente a HIITACT, turno 3; g = significativamente diferente a HIITPASS, turno 4; (C) FC. a = significativamente diferente a HIITPASS, turno 1; b = significativamente diferente a HIITACT turno 1; c = significativamente diferente a REC, turno 1; d = significativamente diferente a HIITPASS turno 2; e = significativamente diferente a HIITACT, turno 2; f = significativamente diferente a REC, turno 2; g = significativamente diferente a HIITPASS, turno 3; h = significativamente diferente a HIITACT, turno 3; i = significativamente diferente a HIITPASS, turno 4; j = significativamente diferente a HIITACT, turno 4. Los datos son promedios \pm SD. ($p > 0.05$).

El VO_2 pico promedio dentro de las condiciones y a través de los turnos, hubo las mismas diferencias estadísticas como las diferencias del VO_2 promedio. El VO_2 promedio cuando se comparan la condición REC a la condición HIITPASS y a la condición HIITACT, fue como se esperaba (Fig. 4, panel A).

Cuando el consumo de oxígeno total fue comparado a lo largo de las tres condiciones, se encontraron diferencias [($p < 0.001$, $F = 78.562$) HIITPASS 12.7 ± 2.06 litros; HIITACT 16.0 ± 3.02 litros; REC 8.4 ± 0.79 litros], con diferencias significativas entre todas las condiciones.

Potencia mecánica

Para la potencia promedio, hubo un efecto principal para la condición [($p < 0.001$, $F = 57.636$). HIITPASS 374.3 ± 70 W; HIITACT 339.9 ± 72.7 W]. No hubo ninguna interacción significativa para condición x turno.

Para la potencia promedio para cada turno (Fig. 4, panel B), se encontraron diferencias entre las condiciones para el Turno 1 ($p = 0.026$, $F = 6.612$), Turno 2 ($p < 0.001$, $F = 87.513$), Turno 3 ($p < 0.001$, $F = 24.144$) y Turno 4 ($p = 0.045$, $F = 5.118$). Para la potencia promedio dentro de las condiciones, se encontraron disminuciones por más tiempo a través de los turnos (HIITPASS $p < 0.001$, $F = 25.281$; HIITACT $p < 0.001$, $F = 22.923$).

Frecuencia cardíaca

Para la FC promedio hubo un efecto principal para la condición [($p < 0.001$, $F = 395.034$), sin embargo, ninguna diferencia significativa se encontró entre las dos condiciones del HIIT: HIITPASS 165 ± 7.6 lat·min. HIITACT 166 ± 11.5 lat·min. REC 99 ± 11.3 lat·min]. Hubo una interacción para la condición x turno ($p = 0.022$).

Para la FC promedio para cada turno (Fig. 4, panel C), se encontraron diferencias entre las condiciones para el Turno 1 ($p < 0.001$, $F = 224.796$), Turno 2 ($p < 0.001$, $F = 375.081$), Turno 3 ($p < 0.001$, $F = 417.149$) y Turno 4 ($p < 0.001$, $F = 289.073$), sin embargo, ninguna diferencia significativa se encontró entre las dos condiciones del HIIT. Para la FC promedio dentro de las condiciones, se encontraron aumentos por más tiempo a través de los turnos. HIITPASS ($p < 0.001$, $F = 20.234$); HIITACT ($p < 0.001$, $F = 16.574$); REC ($p < 0.001$, $F = 14.227$).

La FC_{pico} promedio dentro de las condiciones y a través de los turnos, dieron las mismas diferencias estadísticas vistas en la FC promedio. Las diferencias en la FC cuando se compara con la condición REC a las condiciones HIITPASS y HIITACT, fueron como eran de esperar (Fig. 4, panel C).

DISCUSIÓN

El objetivo primario de este proyecto fue comparar la utilización local ($\Delta[HHb]$) y sistémica (VO_2) del oxígeno, la potencia promedio y las respuestas de la frecuencia cardíaca durante condiciones de HIIT incluyendo una recuperación pasiva o activa. Un objetivo secundario fue comparar a la $\Delta[HHb]$ relativa entre los sitios de tejido muscular local y sitios de tejido del cerebro durante el ejercicio del HIIT. En apoyo a nuestra hipótesis, hubo un aumento significativo en la HHb en el sitio del VL durante los turnos 2do, 3ero y 4to de ejercicio de alta intensidad entremezclados con períodos de recuperación activa (HIITACT) cuando fue comparado a turnos entremezclados con períodos de recuperación pasiva (HIITPASS). También apoyando nuestras hipótesis, al incluir el ejercicio realizado durante los períodos de recuperación activa, el VO_2 total fue significativamente superior durante la condición de HIITACT cuando se comparó a las condiciones HIITPASS y REC. En oposición a nuestras hipótesis, la potencia promedio durante los turnos de ejercicio fue significativamente superior en la condición de HIITPASS cuando se comparó a la condición HIITACT. Ninguna diferencia significativa se encontró en la $\Delta[HHb]$ en los sitios de (FH) y de (GN), en el VO_2 promedio y en la FC promedio durante los turnos de ejercicio de alta intensidad cuando se compara a HIITPASS y HIITACT. Hubo diferencias significativas para todas las

variables dependientes al comparar los turnos en REC a HIITPASS y HIITACT. Estos resultados fueron esperados y validan al uso del protocolo de REC como condición de control.

Oxigenación de los tejidos

La Δ [HHb] significativamente más alta, indicando una utilización de oxígeno mayor, en el sitio del VL durante los turnos segundo, tercero y cuarto de la condición HIITACT, cuando es comparada a la condición de HIITPASS, podría indicar una respuesta a la reducida reoxigenación del músculo durante los tramos de recuperación activa, llevando a una desoxigenación superior del tejido muscular durante los turnos subsecuentes. Esto explicaría la potencia promedio significativamente menor que ocurre durante los turnos de HIITACT, ya que una desoxigenación mayor dañaría el rendimiento subsecuente en este músculo locomotor grande, potencialmente debido a una resíntesis de fosfocreatina anormal (PCr), vinculada a la competencia de recursos de oxígeno limitados [38] o vía centralizada de la reducción neuromuscular en la respuesta a una tasa mayor de cambios bioquímicos [51]. En los sprints intermitentes [18, 24], el mismo patrón de medidas de desempeño reducidas y un mayor nivel de desoxigenación durante las condiciones de la recuperación activa han ocurrido, si un tiempo insuficiente es dado para una recuperación fisiológica completa [26, 29]. Al contrario, Calbet y cols. [52] indican que puede haber una reserva funcional de oxígeno en la capacidad de difusión durante el ejercicio en la que la situación de mayor nivel de desoxigenación observada durante la condición de HIITACT no sería considerado limitante. Debido a las diferencias en el diseño de los experimentos es difícil de comparar los resultados de estos proyectos, sin embargo, es posible que la utilización del oxígeno en el sitio del VL que es el músculo locomotor primario para pedalear [53], probablemente será subestimado por la valoración de la utilización de oxígeno de la pierna entera vía las muestras de sangre femorales de Calbet y cols.

Adicionalmente, la Δ [HHb] significativamente superior en el VL durante los turnos de la condición de HIITACT, no puede representarse por el efecto de la recuperación activa como un proceso aditivo simple (es decir, HIITPASS + REC = HIITACT), ya que las diferencias en la Δ [HHb] entre los turnos de las dos condiciones del HIIT son más altas que la Δ [HHb] durante los turnos de la condición REC (Fig. 3C).

En el músculo más pequeño del GN de la misma pierna, que tiene un rol menor en la producción de la potencia durante el pedaleo [53] y un porcentaje mayor de fibras musculares oxidativas [54, 55], no hubo diferencias significativas en la Δ [HHb] entre las condiciones. Durante el ejercicio, el músculo con un porcentaje mayor de fibras oxidativas (GN) podría reunir los requisitos energéticos mayores, creando un pequeño cambio en los valores de HHb, comparado a los valores de pre-ejercicio. Las razones provistas anteriormente también podrían explicar el por qué de la magnitud de la Δ [HHb] promedio en el músculo del VL fue mayor que la del músculo de GN en las condiciones HIITPASS y HIITACT.

Al comparar la Δ [HHB] dentro de las condiciones, no hubo una progresiva desoxigenación del músculo observada en el VL y en el GN desde los turnos uno al cuatro, independientemente del tipo de recuperación. Si el esfuerzo del ejercicio era máximo, para dar un esfuerzo máximo de cada sujeto durante cada turno, un límite superior de la utilización del oxígeno era alcanzado durante cada esfuerzo en ambos sitios musculares. Esto ha ocurrido en la investigación previa que involucra tests repetidos de Wingate [24]. Cuando se tienen en cuenta las reducciones significativas en la potencia mecánica, esto indica que la caída del rendimiento muscular está asociada con los niveles máximos repetidos de utilización de oxígeno, dando evidencia de que la utilización de oxígeno máxima no puede ser un factor limitante durante el HIIT, en participantes sedentarios. La valoración de la tasa de desoxigenación y de reoxigenación muscular podría producir una buena información para delinear aún más las diferencias entre las condiciones del HIIT y proveer información adicional sobre los mecanismos potenciales involucrados en la utilización de oxígeno de un sitio específico. Aunque una importante dirección de la investigación futura, esta valoración no fue posible durante el proyecto actual debido al presente artefacto en los datos de la NIRS durante la recuperación las porciones de la condición PASSHIIT y la poco práctica oclusión del manguito (una práctica común cuando se examina la tasa de desoxigenación y reoxigenación [56]) durante el ejercicio intermitente supramáximo, midiendo la HHb en segmentos múltiples de los miembros.

La inter-variabilidad individual en el VL de la respuesta de la Δ [HHb] durante la condición HIITACT (Fig. 2) no estuvo relacionada a la potencia de los participantes (es decir, los participantes con potencias más altas no mostraron aumentos máximos en la HHb). Adicionalmente, la Δ [HHb] promedio permaneció sin cambios más tiempo mientras que la potencia promedio disminuyó significativamente, de ahí que la variabilidad no puede explicarse por un sistema demanda-control simple. Un grado similar de variabilidad en la respuesta de la Δ [HHb] puede verse en otro proyecto a publicarse con resultados individuales [57] o notando la desviación estándar de la señal de la Δ [HHb] si el método de cálculo de datos y los análisis son similares [58]. Actualmente, no ningún estándar para los instrumentos de la NIRS o para el método de calcular, de análisis y presentación de los datos de la NIRS [59]. Esto hace que la comparación de los datos de la Δ [HHb] entre proyectos sea difícil, incluso cuando se han realizado proyectos en poblaciones similares, realizando similares intervenciones de HIIT. Esto limita la capacidad de los investigadores para lograr una comprensión comprensiva de lo que constituye una respuesta normal de la NIRS a su vez (o rango) durante el ejercicio en poblaciones sedentarias.

Al comparar la Δ [HHb] de FH del turno uno al turno cuatro, las concentraciones de HHb no subieron significativamente hasta el último turno de ambas condiciones del HIIT. Esta respuesta podría ser debida al cerebro que es protegido de las perturbaciones homeostáticas y, por lo tanto, adecuadamente perfundido durante la mayoría de los turnos de ejercicio [51]. Una tardía vasoconstricción cerebral, un flujo sanguíneo cerebral disminuido y un aumento en el consumo de oxígeno cerebral ocurren en el ejercicio máximo [60, 61]. Estos factores explicarían la elevación tardía en la HHb. Una respuesta similar fue notada en la investigación previa sobre el sprint intermitente [42, 62].

La interpretación de las diferencias en los datos de la Δ [HHb] entre los sitios debe hacerse con precaución. Un efecto principal significativo para el sitio fue encontrado, sin embargo, los dispositivos de la NIRS miden la Δ [HHb] relativa de una línea de base arbitraria. Los parámetros que potencialmente afectan las medidas de la NIRS, como el flujo sanguíneo y la tensión del músculo, no se miden rutinariamente junto con la HHb. Por lo tanto, una falta de diferencias significativas en la Δ [HHb] entre los sitios de FH y de GN necesariamente no indican que las respuestas de la utilización del oxígeno al estímulo del ejercicio sean lo mismo en estos dos sitios.

Consumo sistémico de oxígeno

La investigación previa [63] ha indicado que la recuperación activa está asociada con un mayor consumo de oxígeno durante los turnos de ejercicio cuando es comparada a la recuperación pasiva. Sin embargo, ninguna diferencia significativa se encontró para las condiciones HIITPASS y HIITACT al comparar el VO_2 promedio entre las condiciones y a través de los turnos. Nuestros resultados están conformes con otra investigación [29], aunque ese estudio incorporó el ejercicio intermitente. Los mecanismos potenciales para ninguna diferencia entre las condiciones podrían incluir una menor compensación de la utilización de oxígeno en el tejido asociado al no-ejercicio.

La falta de diferencias a través de los turnos fue inesperada, ya que la respuesta en cada turno de ejercicio subsecuente no es un período de ejercicio aislado, pero se esperaría que sea, en parte, una función de los turnos previos. Por lo tanto, se predijo un aumento en el VO_2 y en la FC como en función del tiempo debido a una recuperación fisiológica incompleta en los 2 minutos disponibles para individuos sedentarios entre los turnos de ejercicio supramáximos. Una explicación potencial para ninguna diferencia a través de los turnos podría ser si la utilización de oxígeno aumenta al máximo en el músculo (como fue indicado por la Δ [HHb] relativamente estable a través del tiempo en el VL y en el GN), un patrón similar se esperaría en la utilización sistémica de oxígeno medida en la boca, y cualquier diferencia en el trabajo a través de los turnos podría ser anaeróbicamente. Otros potenciales factores que contribuyen a los resultados obtenidos incluyen la disminución significativa en la producción de la potencia mecánica a lo largo de los turnos, requiriendo eficazmente menos contribución aeróbica en el tiempo, neutralizando un VO_2 mayor debido a la carga acumulativa del protocolo. Es más, aunque nosotros no medimos el VO_2 máximo en este grupo de participantes, es posible que valores de VO_2 de más de 30 ml·kg⁻¹·min⁻¹ sea máximo en estos individuos sedentarios, creando un efecto de techo eficazmente en cada turno.

Potencia mecánica

La potencia mecánica promedio lograda durante los turnos de ejercicio fue inferior que la lograda por individuos activos que realizan un test repetitivo de Wingate [64]. La potencia mecánica promedio disminuyó significativamente del primero al cuarto turno en las condiciones HIITPASS y HIITACT. Esto fue esperado, debido a la fatiga acumulativa y a la incompleta repleción del ATP y resíntesis de la PCr que ocurren durante la repetición del ejercicio de Wingate que incluye períodos de recuperación que no permiten una recuperación completa [24, 28, 65].

Los turnos de HIITACT fueron todos realizados a una potencia promedio inferior cuando se comparó a los turnos de HIITPASS. A nuestro mejor conocimiento, ninguna investigación del HIIT similar ha sido hecha en individuos sedentarios. Sin embargo, en poblaciones activas al comparar el efecto de la recuperación activa y pasiva en la potencia promedio durante sprints intermitentes, han sido publicados resultados contradictorios. Algunos investigadores no encontraron ninguna diferencia significativa [65-67], aunque otros han encontrado que los protocolos de recuperación pasiva produjeron valores mayores de la potencia promedio [24]. Lopez y cols. [28] encontraron que una condición de recuperación activa producía una potencia promedio significativamente mayor en los últimos turnos (5to y 6to) del Wingate. Este hallazgo podría explicarse por el hecho de que cuanto más larga es la sesión del ejercicio, mayor es la contribución de la recuperación activa al aclaramiento de metabolitos, la corrección de una acidosis celular y la resíntesis de PCr, lo que permitió una disminución inferior de la magnitud en la potencia promedio en los últimos turnos del Wingate.

Los resultados contradictorios anteriores también podrían explicarse por las diferencias en la intensidad de la recuperación activa utilizada en los distintos proyectos, destacando la dificultad de comparar la investigación del HIIT debido a la variedad disponible cuando se diseñan protocolos de ejercicio.

La evidencia actual indica que la recuperación pasiva puede mejorar el rendimiento subsecuente cuando la duración de la recuperación es corta (15-120 segundos) y / o la intensidad del ejercicio es alta [26]. Nuestros resultados en los individuos sedentarios apoyan esto. La selección de un formato de recuperación apropiado (y duración) es una consideración

importante cuando se tiene en cuenta la prescripción del HIIT para individuos sedentarios con poco tiempo, ya que los períodos de recuperación serían de duración relativamente corta para asegurar que la sesión del HIIT entera sea de hecho más corta que las recomendaciones actuales de ejercicio de intensidad moderada.

La potencia promedio inferior en la condición de HIITACT ocurrió a partir del primer turno. En una población sedentaria sin experiencia previa de un test repetitivo de Wingate, los participantes potencialmente adoptaron una estrategia de ajustar el ritmo para minimizar la molestia 'adicional' asociada con una condición incluyendo una recuperación activa.

En cada turno subsecuente, la potencia promedio estuvo significativamente baja en la condición de HIITACT comparada a la condición de HIITPASS. La recuperación local muscular incluye la resíntesis de PCr, que se basa en las vías dependientes del oxígeno y está fuertemente correlacionada con la capacidad de repetir el sprint [68]. La competición para los suministros disponibles de oxígeno puede ocurrir entre los procesos de resíntesis de la PCr, la oxidación del lactato y el costo de oxígeno del ejercicio continuado en sí durante la recuperación activa [26, 28, 38, 69, 70]; causando una disminución en el rendimiento y en la generación de fuerza cuando los protocolos de la recuperación activa son adoptados. Additionally, in sedentary populations the improved active recovery clearance of metabolites may not occur in an acute session of HIIT due to the fact that the improved clearance of metabolites is an adaptation that occurs with routine exercise training at higher intensities [71]. Due to the untrained state of participants, passive rest periods may allow participants to recover to a greater extent, enabling a lesser reduction in power output over the entirety of the HIIT session.

Frecuencia cardíaca

En ambas condiciones de HIIT, las FCs promedio subieron significativamente al comparar el turno uno a los últimos turnos, en línea con resultados de una investigación previa [28].

En oposición a la investigación previa [28, 65, 67] que muestra una condición de recuperación activa asociada con una respuesta de la FC mayor cuando es comparada a una condición de recuperación pasiva, ninguna diferencia significativa fue encontrada entre las condiciones HIITPASS y HIITACT para la FC promedio total y durante cada turno. Esta respuesta está, sin embargo, en línea con otra investigación [29]. La falta de diferencia encontrada en nuestro proyecto podría ser explicada por la potencia significativamente inferior generada por los participantes sedentarios durante la condición de HIITACT. La potencia inferior podría ser responsable de una respuesta de la FC menor durante los turnos de HIITACT aún a través de las porciones de la recuperación activa de la condición mantuvo a las FCs superiores durante la recuperación activa. Durante la condición HIITPASS, una potencia superior causaría una mayor elevación en la FC, pero desde un punto de partida inferior debido a una recuperación de la FC mayor durante porciones de la recuperación pasiva, en efecto, no dando ninguna diferencia en la FC promedio durante cada turno al compararse las condiciones.

Limitaciones

Los participantes dentro de este grupo, aunque relativamente homogéneo en su comportamiento sedentario durante el proyecto, era heterogéneo en sus comportamientos de ejercicio pasado. Esta variabilidad potencialmente podría confundir los resultados. Los participantes necesitaron mantener un nivel alto de motivación durante los turnos repetidos máximos del HIIT. Los individuos con amplia experiencia en ejercicio pasado, aún cuando actualmente son sedentarios, podrían confiarse en la experiencia del ejercicio pasado para aguantar mejor la molestia inherente del HIIT. Aquellos con muy poco o ninguna experiencia de ejercicio previa potencialmente adoptarían estrategias de regular el esfuerzo en forma consciente o subconsciente en un intento de reducir la molestia asociada con los esfuerzos extremos repetidos, a pesar de exigirles rendir lo máximo posible.

Varios participantes reportaron sensaciones de mareos y náuseas durante el período de recuperación de la condición de HIITPASS. Aunque estos síntomas eran sub-clínicos en la severidad, las sensaciones negativas podrían impactar sobre los comportamientos del ejercicio del participante dentro del estudio.

El pedaleo fue elegido para el proyecto actual debido a sus consideraciones prácticas y de seguridad. Sin embargo, la selección de un modo de ejercicio con un grado alto de especificidad puede haber limitado el rendimiento de individuos sedentarios que estarían más acostumbrados a formas de ambulación usando el peso corporal. El efecto del modo sobre el rendimiento durante el HIIT en individuos sedentarios requiere de una investigación más extensa.

CONCLUSIONES

Durante la condición de HIITACT, un mayor nivel de desoxigenación en el músculo VL y una potencia promedio inferior ocurrió, cuando se compara a la condición de HIITPASS. Esto indica que el mayor nivel de desoxigenación podría contribuir a un rendimiento empeorado durante la condición de HIITACT.

Sin embargo, cuando se compara a través de los turnos dentro de cada condición, el nivel de desoxigenación no cambió significativamente en los sitios del VL y del GN desde el turno uno al turno cuatro, cuando se les pide a los participantes que dieran un esfuerzo máximo. Esto indica que la utilización de oxígeno alcanzó valores máximos (pero diferentes) en los dos sitios en cada turno. La potencia promedio disminuyó en el transcurso de ambas condiciones. Por lo tanto, puede concluirse que la utilización de oxígeno máxima no es un factor limitante en individuos sedentarios en el transcurso de una condición de HIIT, independientemente de la inclusión de períodos de recuperación activa o pasiva.

El nivel de desoxigenación en el sitio de FH no aumentó significativamente de los valores de pre-ejercicio hasta el cuarto turno en ambas condiciones de HIIT. Esto indica que la oxigenación cerebral fue adecuada hasta tarde en el ejercicio supramáximo, posiblemente debido a la importancia de mantener una perfusión cerebral adecuada.

A nuestro conocimiento, ésta es la primera investigación en mostrar que en sujetos sedentarios, los niveles de Δ [HHb] alcanzados durante el ejercicio de HIIT varían en los diferentes músculos locomotores de la misma pierna, indicando la especificidad de la utilización individual de oxígeno del músculo.

Agradecimientos

A los autores les gustaría agradecer a los participantes de esta investigación, sin ellos este proyecto no habría sido posible.

REFERENCIAS

1. Bijnen FCH, Caspersen CJ, Mosterd WL. (1994). Physical Inactivity as a Risk Factor for Coronary Heart-Disease—a Who and International-Society and Federation-of-Cardiology Position Statement. *B World Health Organ.* 1994;72(1):1–4.
2. Blair SN, Kohl HW, Paffenbarger RS, Clark DG, Cooper KH, Gibbons LW. (1989). Physical-Fitness and All-Cause Mortality—a Prospective-Study of Healthy-Men and Women. *Jama-J Am Med Assoc.* 1989;262(17):2395–401.
3. Guthold R, Ono T, Strong KL, Chatterji S, Morabia A. (2008). Worldwide variability in physical inactivity a 51-country survey. *Am J Prev Med.* 2008;34(6):486–94.
4. Australian Health Survey: First Results. (2011). In: Statistics ABo, editor. 2011–2012.
5. Tucker JM, Welk GJ, Beyler NK. (2011). Physical Activity in US Adults Compliance with the Physical Activity Guidelines for Americans. *Am J Prev Med.* 2011;40(4):454–61.
6. Chastin SFM, Dall PM, Tigbe WW, Grant MP, Ryan CG, Rafferty D, et al. (2009). Compliance with physical activity guidelines in a group of UK-based postal workers using an objective monitoring technique. *Eur J Appl Physiol.* 2009;106(6):893–9.
7. Troiano RP, Berrigan D, Dodd KW, Masse LC, Tilert T, McDowell M. (2008). Physical activity in the United States measured by accelerometer. *Med Sci Sport Exer.* 2008;40(1):181–8.
8. Pescatello LS, American College of Sports Medicine. (2013). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 9th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health; 2013. p. p.
9. Strazdins L, Broom DH, Banwell C, McDonald T, Skeat H. (2011). Time limits? Reflecting and responding to time barriers for healthy, active living in Australia. *Health Promot Int.* 2011;26(1):46–54.
10. Gillen JB, Gibala MJ. (2014). Is high-intensity interval training a time-efficient exercise strategy to improve health and fitness? *Appl Physiol Nutr Me.* 2014;39(3):409–12.
11. Kessler HS, Sisson SB, Short KR. (2012). The potential for high-intensity interval training to reduce cardiometabolic disease risk. *Sports Med.* 2012;42(6):489–509.
12. Nybo L, Sundstrup E, Jakobsen MD, Mohr M, Hornstrup T, Simonsen L, et al. (2010). High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health. *Med Sci Sport Exer.* 2010;42(10):1951–8.
13. Gibala MJ, Little JP, MacDonald MJ, Hawley JA. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol-London.* 2012;590(5):1077–84.
14. Tjønnå AE, Lee SJ, Rognmo O, Stølen TO, Bye A, Haram PM, et al. (2008). Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome—A pilot study. *Circulation.* 2008;118(4):346–54.
15. Weston KS, Wisloff U, Coombes JS. (2014). High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *Brit J Sport Med.* 2014;48(16):1227–U52.
16. Russell AP, Foletta VC, Snow RJ, Wadley GD. (2014). Skeletal muscle mitochondria: A major player in exercise, health and disease. *Bba-Gen Subjects.* 2014;1840(4):1276–84.

17. Jacobs RA, Fluck D, Bonne TC, Burgi S, Christensen PM, Toigo M, et al. (2013). Improvements in exercise performance with high-intensity interval training coincide with an increase in skeletal muscle mitochondrial content and function. *J Appl Physiol.* 2013;115(6):785-93.
18. Buchheit M, Cormie P, Abbiss CR, Ahmaidi S, Nosaka KK, Laursen PB. (2009). Muscle Deoxygenation during Repeated Sprint Running: Effect of Active vs. *Passive Recovery.* *Int J Sports Med.* 2009;30(6):418-25.
19. Buchheit M, Hader K, Mendez-Villanueva A. (2012). Tolerance to high-intensity intermittent running exercise: do oxygen uptake kinetics really matter? *Front Physiol.* 2012;3:406.
20. Buchheit M, Abbiss CR, Peiffer JJ, Laursen PB. (2012). Performance and physiological responses during a sprint interval training session: relationships with muscle oxygenation and pulmonary oxygen uptake kinetics. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(2):767-79.
21. Kime R, Im J, Moser D, Lin YQ, Nioka S, Katsumura T, et al. (2005). Reduced heterogeneity of muscle deoxygenation during heavy bicycle exercise. *Med Sci Sport Exer.* 2005;37(3):412-7.
22. Koga S, Poole DC, Ferreira LF, Whipp BJ, Kondo N, Saitoh T, et al. (2007). Spatial heterogeneity of quadriceps muscle deoxygenation kinetics during cycle exercise. *J Appl Physiol.* 2007;103(6):2049-56.
23. Chin LM, Kowalchuk JM, Barstow TJ, Kondo N, Amano T, Shiojiri T, et al. (2011). The relationship between muscle deoxygenation and activation in different muscles of the quadriceps during cycle ramp exercise. *Journal of applied physiology.* 2011;111(5):1259-65.
24. Dupont G, Moalla W, Matran R, Berthoin S. (2007). Effect of short recovery intensities on the performance during two wingate tests. *Med Sci Sport Exer.* 2007;39(7):1170-6.
25. Buchheit M, Laursen PB. (2013). High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle Part I: Cardiopulmonary Emphasis. *Sports Med.* 2013;43(5):313-38.
26. Ohya T, Aramaki Y, Kitagawa K. (2013). Effect of Duration of Active or Passive Recovery on Performance and Muscle Oxygenation during Intermittent Sprint Cycling Exercise. *Int J Sports Med.* 2013;34(7):616-22.
27. Spierer DK, Goldsmith R, Baran DA, Hryniewicz K, Katz SD. (2004). Effects of active vs. *passive recovery on work performed during serial supramaximal exercise tests.* *Int J Sports Med.* 2004;25(2):109-14.
28. Lopez EID, Smoliga JM, Zavorsky GS. (2014). The Effect of Passive Versus Active Recovery on Power Output Over Six Repeated Wingate Sprints. *Res Q Exerc Sport.* 2014;85(4):519-26.
29. Dupont G, Moalla W, Guinhouya C, Ahmaidi S, Berthoin S. (2004). Passive versus active recovery during high-intensity intermittent exercises. *Med Sci Sport Exer.* 2004;36(2):302-8.
30. Barnes J, Behrens TK, Benden ME, Biddle S, Bond D, Brassard P, et al. (2012). Letter to the Editor: Standardized use of the terms "sedentary" and "sedentary behaviours". *Appl Physiol Nutr Me.* 2012;37(3):540-2.
31. Levy ML, Quanjer PH, Booker R, Cooper BG, Holmes S, Small I, et al. (2009). Diagnostic spirometry in primary care: Proposed standards for general practice compliant with American Thoracic Society and European Respiratory Society recommendations: a General Practice Airways Group (GPIAG)1 document, in association with the Association for Respiratory Technology & Physiology (A. *gpiag.org* 2 *www.artp.org* 3 *www.educationforhealth.org.uk.* *Prim Care Respir J.* 2009;18(3):130-47.
32. Burgomaster KA, Howarth KR, Phillips SM, Rakobowchuk M, MacDonald MJ, Mcgee SL, et al. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol-London.* 2008;586(1):151-60.
33. Gibala MJ, McGee SL. (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev.* 2008;36(2):58-63.
34. Burgomaster KA, Hughes SC, Heigenhauser GJ, Bradwell SN, Gibala MJ. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol.* 2005;98(6):1985-90.
35. Buchheit M, Mendez-Villanueva A, Quod M, Quesnel T, Ahmaidi S. (2010). Improving Acceleration and Repeated Sprint Ability in Well-Trained Adolescent Handball Players: Speed Versus Sprint Interval Training. *Intj Sport Physiol.* 2010;5(2):152-64.
36. Gibala MJ, Little JP, van Essen M, Wilkin GP, Burgomaster KA, Safdar A, et al. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol.* 2006;575(Pt 3):901-11. doi: 10.1113/jphysiol.2006.112094
37. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. (2010). Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance. 7th ed. Philadelphia: *Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health;* 2010. p. p.
38. Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C, Duffield R. (2006). Metabolism and performance in repeated cycle sprints: active versus passive recovery. *Med Sci Sport Exer.* 2006;38(8):1492-9.
39. Bonen A, Belcastro AN. (1976). Comparison of self-selected recovery methods on lactic acid removal rates. *Med Sci Sport Exer.* 1976;8(3):176-8.
40. Belcastro AN, Bonen A. (1975). Lactic acid removal rates during controlled and uncontrolled recovery exercise. *J Appl Physiol.* 1975;39(6):932-6.
41. Prieur F, Mucci P. (2013). Effect of high-intensity interval training on the profile of muscle deoxygenation heterogeneity during incremental exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113(1):249-57.
42. Smith KJ, Billaut F. (2010). Influence of cerebral and muscle oxygenation on repeated-sprint ability. *Eur J Appl Physiol.* 2010;109(5):989-99.
43. Buchheit M, Ufland P, Haydar B, Laursen PB, Ahmaidi S. (2011). Reproducibility and sensitivity of muscle reoxygenation and oxygen uptake recovery kinetics following running exercise in the field. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2011;31(5):337-46.
44. Jones AM, Davies RC, Ferreira LF, Barstow TJ, Koga S, Poole DC. (2009). Reply to Quaresima and Ferrari. *J Appl Physiol.* 2009;107(1):372-3.
45. Wang L, Yoshikawa T, Hara T, Nakao H, Suzuki T, Fujimoto S. (2006). Which common NIRS variable reflects muscle estimated lactate threshold most closely? *Appl Physiol Nutr Me.* 2006;31(5):612-20. *Epub 2006/11/18.*

46. Adami A, Koga S, Kondo N, Cannon DT, Kowalchuk JM, Amano T, et al. (2015). Changes in whole tissue heme concentration dissociates muscle deoxygenation from muscle oxygen extraction during passive head-up tilt. *J Appl Physiol.* 2015;118(9):1091-9.
47. Grassi B, Pogliaghi S, Rampichini S, Quaresima V, Ferrari M, Marconi C, et al. (2003). Muscle oxygenation and pulmonary gas exchange kinetics during cycling exercise on-transitions in humans. *J Appl Physiol.* 2003;95(1):149-58.
48. Macfarlane DJ, Wu HL. (2013). Inter-unit variability in two ParvoMedics TrueOne 2400 automated metabolic gas analysis systems. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113(3):753-62.
49. Austin KG, Daigle KA, Patterson P, Cowman J, Chelland S, Haymes EM. (2005). Reliability of near-infrared spectroscopy for determining muscle oxygen saturation during exercise. *Res Q Exerc Sport.* 2005;76(4):440-9.
50. Muthalib M, Millet GY, Quaresima V, Nosaka K. (2010). Reliability of near-infrared spectroscopy for measuring biceps brachii oxygenation during sustained and repeated isometric contractions. *J Biomed Opt.* 2010;15(1). ArtN 017008
51. Amann M, Calbet JAL. Convective oxygen transport and fatigue. (2008). *J Appl Physiol.* 2008;104(3):861-70.
52. Calbet JAL, Losa-Reyna J, Torres-Peralta R, Rasmussen P, Ponce-Gonzalez JG, Sheel AW, et al. (2015). Limitations to oxygen transport and utilization during sprint exercise in humans: evidence for a functional reserve in muscle O₂ diffusing capacity. *J Physiol-London.* 2015;593(20):4649-64.
53. Bijker KE, de Groot G, Hollander AP. (2002). Differences in leg muscle activity during running and cycling in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2002;87(6):556-61.
54. Hagström-Toft E, Qvisth V, Nennesmo I, Ryden M, Bolinder H, Enoksson S, et al. (2002). Marked heterogeneity of human skeletal muscle lipolysis at rest. *Diabetes.* 2002;51(12):3376-83.
55. Houmard JA, Weidner ML, Gavigan KE, Tyndall GL, Hickey MS, Alshami A. (1998). Fiber type and citrate synthase activity in the human gastrocnemius and vastus lateralis with aging. *J Appl Physiol.* 1998;85(4):1337-41.
56. Buchheit M, Ufland P. (2011). Effect of endurance training on performance and muscle reoxygenation rate during repeated-sprint running. *European journal of applied physiology.* 2011;111(2):293-301.
57. Jones B, Hamilton DK, Cooper CE. (2015). Muscle oxygen changes following Sprint Interval Cycling training in elite field hockey players. *Plos One.* 2015;10(3):e0120338.
58. Spencer MD, Murias JM, Lamb HP, Kowalchuk JM, Paterson DH. (2011). Are the parameters of VO₂, heart rate and muscle deoxygenation kinetics affected by serial moderate-intensity exercise transitions in a single day? *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(4):591-600.
59. Ferrari M, Muthalib M, Quaresima V. (2011). The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: recent developments. *Philos T R Soc A.* 2011;369(1955):4577-90.
60. Rooks CR, Thom NJ, McCully KK, Dishman RK. (2010). Effects of incremental exercise on cerebral oxygenation measured by near-infrared spectroscopy: a systematic review. *Prog Neurobiol.* 2010;92(2):134-50.
61. Subudhi AW, Lorenz MC, Fulco CS, Roach RC. (2008). Cerebrovascular responses to incremental exercise during hypobaric hypoxia: effect of oxygenation on maximal performance. *Am J Physiol-Heart C.* 2008;294(1):H164-H71.
62. Shibuya K, Tanaka J, Kuboyama N, Ogaki T. (2004). Cerebral oxygenation during intermittent supramaximal exercise. *Respir Physiol Neurobiol.* 2004;140(2):165-72.
63. Bogdanis GC, Nevill ME, Lakomy HKA, Graham CM, Louis G. (1996). (1996). Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling. *Eur J Appl Physiol O.* 1996;74(5):461-9.
64. Jaafar H, Rouis M, Coudrat L, Attiogbe E, Vandewalle H, Driss T. (2014). Effects of Load on Wingate Test Performances and Reliability. *J Strength Cond Res.* 2014;28(12):3462-8.
65. Wahl P, Mathes S, Kohler K, Achtzehn S, Bloch W, Mester J. (2013). Effects of active vs. passive recovery during Wingate-based training on the acute hormonal, metabolic and psychological response. *Growth Horm IGF Res.* 2013;23(6):201-8.
66. Connolly DA, Brennan KM, Lauzon CD. (2003). Effects of active versus passive recovery on power output during repeated bouts of short term, high intensity exercise. *J Sport Sci Med.* 2003;2(2):47-51.
67. Bishop D, Ruch N, Paun V. (2007). Effects of active versus passive recovery on thermoregulatory strain and performance in intermittent-sprint exercise. *Med Sci Sport Exer.* 2007;39(5):872-9.
68. Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HK, Nevill AM. (1995). Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. *J Physiol.* 1995;482 (Pt 2):467-80.
69. Spencer M, Dawson B, Goodman C, Dascombe B, Bishop D. (2008). Performance and metabolism in repeated sprint exercise: effect of recovery intensity. *Eur J Appl Physiol.* 2008;103(5):545-52.
70. Haseler LJ, Hogan MC, Richardson RS. (1999). Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O₂ availability. *J Appl Physiol.* 1999;86(6):2013-8.
71. Laursen PB, Jenkins DG. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med.* 2002;32(1):53-73.

Cita Original

Kriel Y, Kerhervé HA, Askew CD, Solomon C (2016) The Effect of Active versus Passive Recovery Periods during High Intensity Intermittent Exercise on Local Tissue Oxygenation in 18 - 30 Year Old Sedentary Men. *PLoS ONE* 11(9): e0163733. doi:10.1371/journal.pone.0163733