

Article

Variabilidad Inter-Individual en las Respuestas Adaptativas al Entrenamiento de Resistencia y al Entrenamiento de Sprint por Intervalos: Un Estudio Aleatorizado Cruzado

Jacob T. Bonafiglia, Mario P. Rotundo, Jonathan P. Whittall, Trisha D. Scribbans, Ryan B. Graham y Brendon J. Gurd

Editor: Jose A. L. Calbet, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, SPAIN

Recibido: June 6, 2016; **Aceptado:** November 20, 2016; **Publicado:** December 9, 2016

Copyright: © 2016 Bonafiglia et al.

RESUMEN

El estudio actual examinó la respuesta adaptativa a tanto el entrenamiento de resistencia (END) como el entrenamiento interválico de sprint (SIT) en un grupo de veintiuno adultos recreativamente activos. Todos los participantes completaron tres semanas (cuatro días / semana) de los entrenamientos END (30 minutos al $\sim 65\%$ VO_{2pico} como tasa de trabajo (WR) y de SIT (ocho intervalos de 20 segundos al $\sim 170\%$ VO_{2pico} de WR separados por 10 segundos de pausa activa), siguiendo un diseño de estudio aleatorizado cruzado con un período de separación temporal de tres meses entre las intervenciones de entrenamiento. Mientras un efecto principal del entrenamiento se observó para el VO_{2pico} , el umbral de lactato, y la frecuencia cardíaca submáxima (FC), se observó una variabilidad considerable en las respuestas individuales a ambos entrenamientos END y SIT. No se observaron relaciones positivas significativas entre el END y el SIT para los cambios individuales en cualquier variable. Las no-respuestas fueron determinadas usando dos veces el error típico (TE) de medición para el VO_{2pico} (0.107 L/min), umbral de lactato (15.7 W), y la FC submáxima (10.7 lat/min). Los no-respondedores en el VO_{2pico} , umbral de lactato, y la FC submáxima después de los dos entrenamientos END y SIT, sin embargo, los patrones individuales de respuesta difirieron después de END y SIT. Es interesante observar que todos los individuos respondieron en al menos uno inconstante cuando fueron expuestos al END y al SIT. Estos resultados indican que la respuesta individual al ejercicio físico es altamente variable luego de diferentes protocolos de entrenamiento y que la incidencia de la no-respuesta al ejercicio físico puede reducirse cambiando el estímulo del entrenamiento para los no-respondedores a tres semanas de END o SIT.

INTRODUCCIÓN

Una heterogeneidad considerable existe en la respuesta individual en el consumo de oxígeno máximo (VO_{2pico}) luego del entrenamiento físico [1-3]. Específicamente, el VO_{2pico} puede aumentar [2,4], disminuir [5], o permanecer inalterado [6,7] después del entrenamiento de la resistencia estructurado (END). Similarmente, también se ha observado variabilidad inter-individual en las respuestas al entrenamiento luego de un entrenamiento interválico de sprint supra-máximo (SIT) [8,9]. Mientras se ha demostrado variabilidad en las respuestas al entrenamiento END y SIT, actualmente no se sabe si los individuos que no responden a un tipo de ejercicio físico después, podrían responder a un estímulo del entrenamiento diferente (es decir, diferente volumen de ejercicio, intensidad y demanda metabólica).

Mientras el END y el SIT difieren sustancialmente en el volumen del ejercicio, la intensidad, y la demanda metabólica, a nivel grupal, ellos inducen adaptaciones notablemente similares en el VO_{2pico} [10,11], umbral de lactato [12,13], y potencial oxidativo muscular [14-16]. Es interesante observar que la evidencia limitada que demuestra esas adaptaciones centrales luego del entrenamiento puede diferir entre el END y SITE [17,18], apoya el potencial de que los mecanismos que subyacen adaptaciones similares en el VO_{2pico} pueden diferir después de END y SIT. Además, la variabilidad individual tanto en las adaptaciones periféricas [19,20] como centrales [17] se han observado luego de los entrenamientos. Juntos estos resultados indican que las adaptaciones centrales y periféricas pueden variar en un individuo después de un END o SIT, apoyando la hipótesis de que un individuo que no responde luego de un END puede responder después de un SIT (y viceversa).

Por lo tanto, para determinar si los individuos responden diferentemente a END y SIT, el presente estudio comparó respuestas individuales luego de tres semanas de ambos entrenamientos END y SIT utilizando un diseño aleatorizado cruzado con un período de pausa temporal de tres meses entre las intervenciones de entrenamiento. Los cambios individuales en el VO_{2pico} , umbral de lactato, y frecuencia cardíaca submáxima (FC) fueron comparados y la incidencia de la respuesta y la no-respuesta para todas las variables fueron clasificadas usando el error típico (TE), un índice de error de medición que considera la variabilidad biológica y técnica [21]. Nosotros supusimos que las respuestas individuales para END necesariamente no reflejarían las respuestas para SIT (y viceversa), potencialmente debido a las diferencias en las adaptaciones periféricas y centrales.

MÉTODOS

Veintiuno sujetos sanos recreativamente activos (auto-reporte 4 mmol/L [23,24], a menudo llamado el comienzo de acumulación del lactato sanguíneo a 4 mmol/L [25-27]).

Intervenciones de entrenamiento

El entrenamiento consistió de dos períodos de entrenamiento de 3 semana separados por tres meses. Durante cada período de entrenamiento, los participantes fueron instruidos a pedalear durante 30 minutos al ~65% de WR del VO_{2pico} (END), o realizar ocho intervalos de 20 segundos al ~170% de WR del VO_{2pico} , separados por 10 segundos de pausa (SIT). Ambas intervenciones de entrenamiento requerían que los participantes se entrenaran cuatro veces por semana y que el orden de entrenamiento fuera equilibrado de tal forma que 12 (seis varones; seis mujeres) participantes completaban el END primero. Todas las sesiones de entrenamiento fueron precedidas por una entrada en calor sin carga de un minuto. Se les dijo a los participantes que mantuvieran una cadencia de 80RPM y recibieron un estímulo verbal a lo largo de todas las sesiones de entrenamiento. La FC era registrada durante el entrenamiento, en intervalos de 3 minutos (END) y al final de cada intervalo (SIT), usando los monitores Polar de FC (Polar Team2 Pro, Kempele, Finlandia). Las valuaciones del esfuerzo percibido (la RPE) fue registrada después de cada sesión de entrenamiento usando una escala de Borg 6-20 inmediatamente [28]. Se promediaron la FC y la RPE a lo largo de todas las sesiones de entrenamiento para determinar la FC y la RPE de entrenamiento para END y SIT.

Determinación del error típico

A fin de determinar el error típico (TE) para el VO_{2pico} , umbral de lactato y FC submáxima, un experimento adicional involucrando ocho participantes recreativamente activos (cuatro varones; cuatro mujeres, edad, 21 ± 1 años; BMI, 21 ± 2 kg/m²; VO_{2pico} , 44 ± 6 m/kg/min) se reportaron al laboratorio en dos ocasiones separadas por al menos una semana como fue descrito previamente [9]. En cada visita al laboratorio, los participantes realizaron los tests de rampa incrementales e idénticos hasta la fatiga volitiva como fue descrito anteriormente. El VO_{2pico} , umbral de lactato y FC submáxima fueron

determinados para cada test como fue descrito anteriormente y los valores resultantes fueron utilizados para calcular el TE.

El error típico (TE) de medición fue calculado para el $VO_{2\text{pico}}$, umbral de lactato, y FC submáxima como fue descrito previamente [21], utilizando la ecuación siguiente:

$$TE = SD_{diff} / \sqrt{2}$$

Donde SD_{diff} es la variación (desviación estándar) de los registros de la diferencia observados entre las 2 repeticiones de cada test. Un no-responder para el $VO_{2\text{pico}}$, umbral de lactato, o FC submáxima fue definido como un individuo que no demostraba un aumento o disminución que fuera mayor que dos veces el TE fuera del cero. Un cambio más allá de dos veces el TE quiere decir que hay una alta probabilidad (es decir, 12 a 1 posibilidades) de que esta respuesta es una verdadera adaptación fisiológica más allá de lo que podría esperarse que sea el resultado de la variabilidad técnica y/o biológica [21].

Análisis estadístico

Se expresan los datos como promedios y desviación estándar. Para asegurar la eficacia del período de pausa temporal de la línea de base y las medidas de respuesta del $VO_{2\text{pico}}$, umbral de lactato, y FC submáxima entre el período de entrenamiento uno y dos fueron comparados usando los t-tests no apareados como fue descrito previamente [29]. Los efectos del protocolo del entrenamiento (END vs SIT) y tiempo (Pre vs Post) para todas las variables se examinaron usando un ANOVA de medidas repetidas bidireccionales. Cualquier efecto principal significativo o interacciones fueron analizados subsecuentemente usando un test post hoc de Bonferroni donde era apropiado. Los t-tests no apareados también se usaron para evaluar separadamente las diferencias en la respuesta de entrenamiento para todas las variables entre los varones y mujeres luego del END y SIT, y para determinar si las respuestas después del END o SIT eran diferentes entre los períodos de entrenamiento. Una regresión lineal simple fue usada para determinar la relación entre las variables básicas entre el período de entrenamiento uno y dos y entre la magnitud de la respuesta entre END y SIT. Se evaluaron diferencias en la FC y RPE de entrenamiento entre END y SIT usando t-tests apareados y regresiones lineales simples fueron usadas para determinar si estas variables se relacionaban a la magnitud de las respuestas fisiológicas luego del entrenamiento. Un test de McNemar fue usado para determinar si END y SIT producían tasas similares de la respuesta para el $VO_{2\text{pico}}$, umbral de lactato, y FC submáxima. La significancia estadística se aceptó en $p < 0.05$

RESULTADOS

La asistencia a las sesiones de entrenamiento fue del 100% y todos los datos reportados son solamente de esos participantes que completaron el protocolo del estudio entero. Tres participantes abandonaron el estudio luego del testeo pre-entrenamiento en el primer período de entrenamiento y no fueron incluidos en el último análisis. La FC promedio y la RPE inmediatamente después de SIT (FC: 172.8 ± 7.8 lat/min; RPE: 17.9 ± 0.9 , promedio \pm SD) fueron significativamente superiores ($p < 0.05$) que END (FC: 166.2 ± 13.7 lat/min; RPE: 15.5 ± 1.4 , promedio \pm SD). Es interesante observar que la RPE inmediatamente reportada luego de cada sesión de SIT fue significativamente relacionada con la magnitud de cambio en el $VO_{2\text{pico}}$ inducido por SIT ($r = 0.5$, $p < 0.05$). Las medidas básicas, y la magnitud de respuesta para todas las variables durante los períodos de entrenamiento uno y dos se presentan en la Tabla 1. Los t-tests no apareados no revelaron ninguna diferencia entre las medidas de la línea de base para el $VO_{2\text{pico}}$ ($p = 0.62$), umbral de lactato ($p = 0.12$), y la FC submáxima ($p = 0.86$) entre los períodos de entrenamiento uno y dos. Ninguna diferencia se observó en la magnitud de respuesta entre los períodos de entrenamiento uno y dos para el $VO_{2\text{pico}}$ ($p = 0.20$), umbral de lactato ($p = 0.55$), o FC submáxima ($p = 0.62$). Adicionalmente, no hubo ninguna diferencia en la respuesta promedio de END o SIT para cualquier variable entre los períodos de entrenamiento. Además, las medidas básicas para los períodos de entrenamiento uno y dos estaban significativamente relacionadas para el $VO_{2\text{pico}}$ ($r = 0.94$, $p < 0.05$), umbral de lactato ($r = 0.82$, $p < 0.05$), y FC submáxima ($r = 0.82$, $p < 0.05$).

Tabla 1. Pre-entrenamiento y magnitud de la respuesta para los períodos de entrenamiento 1 y 2 para todos los participantes.

	Periodo de Entrenamiento 1		Periodo de Entrenamiento 2	
	Pre-entrenamiento	Respuesta	Pre-entrenamiento	Respuesta
VO _{2pico} (L/min)	3.0 ± 0.9	+0.05 ± 0.2	2.9 ± 0.9	+0.15 ± 0.3
VO _{2pico} (mL/kg//min)	42.7 ± 6.4	+0.7 ± 3.2	41.2 ± 6.9	+2.2 ± 3.2
Umbral de Lactato (W)	165.9 ± 43.2	+20.2 ± 18.3	190.7 ± 51.4	+14.7 ± 34.9
FC submáxima (lat/min)	153.9 ± 24.7	-5.8 ± 7.8	152.6 ± 21.5	-4.1 ± 12.8

Los valores son promedios ±SD.

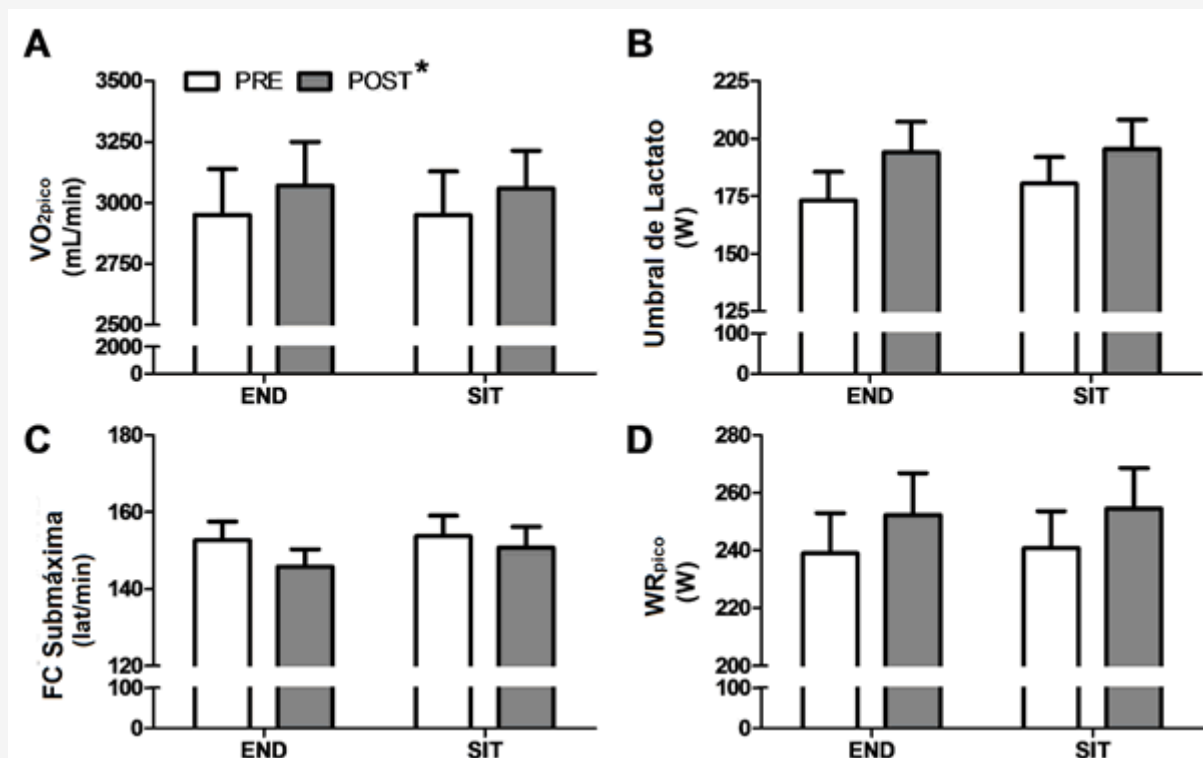


Figura 2. Respuestas de los grupos luego de 3 semanas de END y SIT.

Las respuestas de cada grupo para el VO_{2pico} (A), umbral de lactato (B), FC submáxima (C), y WRpico (D). * significativo efecto principal del entrenamiento, $p < 0.05$.

Las características de los participantes y los valores pre- y post-entrenamiento para END y SIT se presentan en la Tabla 2. Un efecto principal del entrenamiento ($p < 0.05$) se observó para el VO_{2pico} (Fig. 2A), umbral de lactato (Fig. 2B), FC submáxima (Fig. 2C), y WRpico (Fig. 2D). Ni efectos de la condición (END vs SIT) o de interacción (tiempo x condición) se observaron para cualquier variable examinada. Mientras los varones tuvieron valores de base superiores de VO_{2pico}, umbral de lactato, FC submáxima, y WRpico que las mujeres ($p < 0.05$), no hubo ninguna diferencia estadística en la magnitud de las respuestas de entrenamiento entre los sexos (Tabla 2). No se observaron relaciones significativas entre END y SIT para los cambios individuales en el VO_{2pico} ($r = 0.14$, $p = 0.57$; Fig. 3A), en el umbral de lactato ($r = 0.10$, $p = 0.70$; Fig. 3B), o en la FC submáxima ($r = 0.17$, $p = 0.46$). El VO_{2pico} básico no predijo los cambios en el VO_{2pico} después de END ($r = 0.28$, $p = 0.22$) pero estuvo negativamente relacionado con el cambio en el VO_{2pico} inducido por SIT ($r = -0.59$, $p < 0.01$). El umbral de lactato básico, y las FCs submáximas no estuvieron relacionadas con los cambios inducidos por el entrenamiento después de END (umbral de lactato: $r = 0.0$, $p = 1.0$; FC: $r = 0.37$, $p = 0.10$) o de SIT (umbral de lactato: $r = 0.29$, $p = 0.23$; FC: $r = 0.11$, $p = 0.63$).

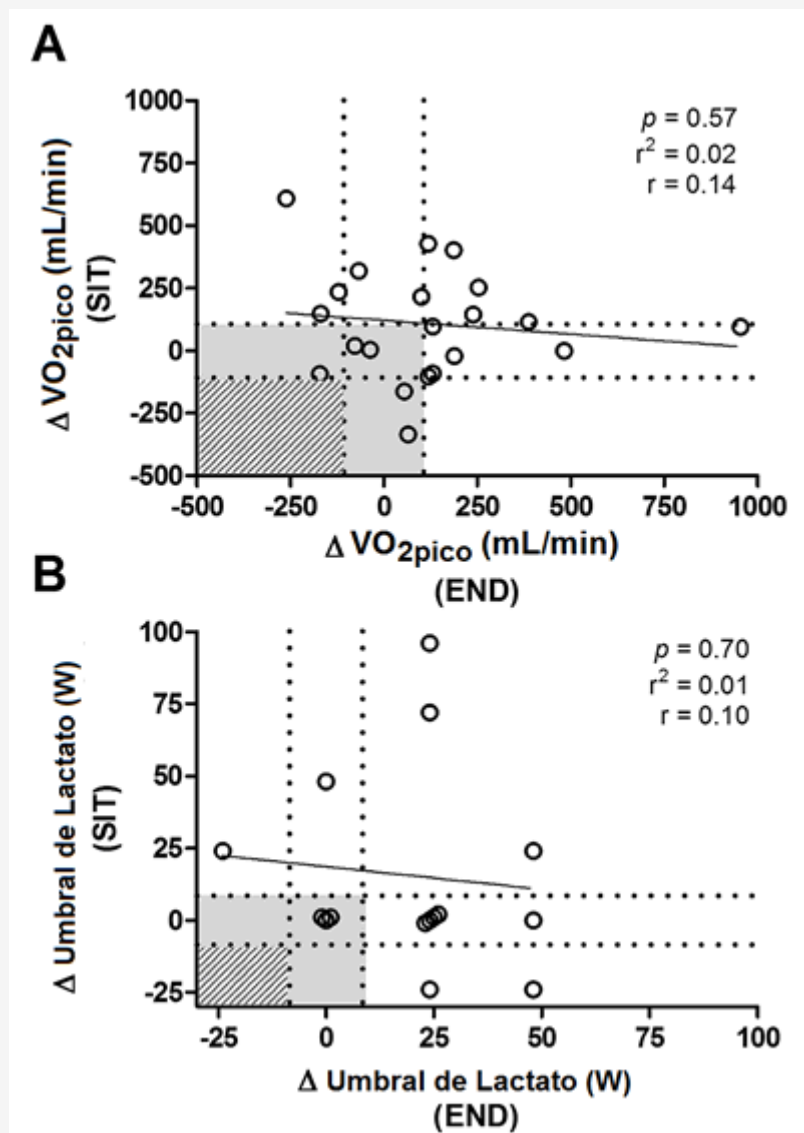


Figura 3. Correlaciones de las respuestas individuales luego de 3 semanas de END y SIT.

La relación entre las respuestas individuales en el VO_{2pico} (A) y umbral de lactato (B). las líneas punteadas representan los cortes del error típico. Los individuos que caen dentro de la zona sombreada o no mejoraron el VO_{2pico} o umbral de lactato luego de END y SIT, mientras el área marcada representa una respuesta adversa luego de ambos protocolos del entrenamiento.

Tabla 2. Características de los participantes y las respuestas de cada grupo a END y SIT.

	END					
	Pre			Post		
	Varones (n=9)	Mujeres (n=12)	Total (n=21)	Varones (n=9)	Mujeres (n=12)	Total (n=21)
Edad (años)	20.4 ± 1.2	19.9 ± 1.2	20.3 ± 0.9	-	-	-
Altura (cm) †	181 ± 6	165 ± 7	172 ± 12	-	-	-
Peso Corp. (kg) †	81.9 ± 10.3	62.0 ± 11.6	70.0 ± 14.7	82.0 ± 10.9	61.2 ± 11.5	69.5 ± 15.6
VO _{2pico} (L/min) †	3.7 ± 0.5	2.4 ± 0.5	3.0 ± 0.9	3.8 ± 0.5	2.5 ± 0.5	3.1 ± 0.9*
VO _{2pico} (mL/kg/min) †	46.0 ± 3.9	39.3 ± 6.7	42.2 ± 6.4	47.3 ± 5.4	41.4 ± 6.2	43.9 ± 6.4*
Umbral de Lactato (W) †	209 ± 38	149 ± 40	175 ± 47	233 ± 40	171 ± 46	199 ± 51*
WR _{pico} (W) †	296 ± 42	196 ± 39	238 ± 64	309 ± 58	210 ± 32	252 ± 66*
FC Submáxima (lat/min) †	135 ± 11	166 ± 19	152 ± 22.	129 ± 8	159 ± 18	146 ± 21*

	SIT					
	Pre			Post		
	Varones (n=9)	Mujeres (n=12)	Total (n=21)	Varones (n=9)	Mujeres (n=12)	Total (n=21)
Edad (años)	20.4 ± 1.2	19.9 ± 1.2	20.3 ± 0.9	-	-	-
Altura (cm) †	181 ± 6	165 ± 7	172 ± 12	-	-	-
Peso Corp. (kg) †	82.8 ± 11.6	62.2 ± 12.4	70.4 ± 15.6	83.1 ± 11.2	61.7 ± 11.5	70.3 ± 15.6
VO _{2pico} (L/min) †	3.7 ± 0.6	2.4 ± 0.5	3.0 ± 0.9	3.7 ± 0.5	2.6 ± 0.4	3.1 ± 0.9*
VO _{2pico} (mL/kg/min) †	45.0 ± 9.3	39.2 ± 5.5	41.7 ± 6.9	44.7 ± 5.5	41.6 ± 5.4	42.9 ± 5.5*
Umbral de Lactato (W) †	215 ± 36	154 ± 40	180 ± 47	230 ± 33.3	165 ± 41	192 ± 47*
WR _{pico} (W) †	292 ± 45	202 ± 30	241 ± 57	314 ± 46	210 ± 32	255 ± 63*
FC Submáxima (lat/min) †	133 ± 13	169 ± 19	155 ± 24	129 ± 9	167 ± 20	151 ± 25*

Los valores son promedios ±SD.
† significativa diferencia de línea de base entre varones y mujeres, p <0.05.
* principal efecto del entrenamiento, p <0.05

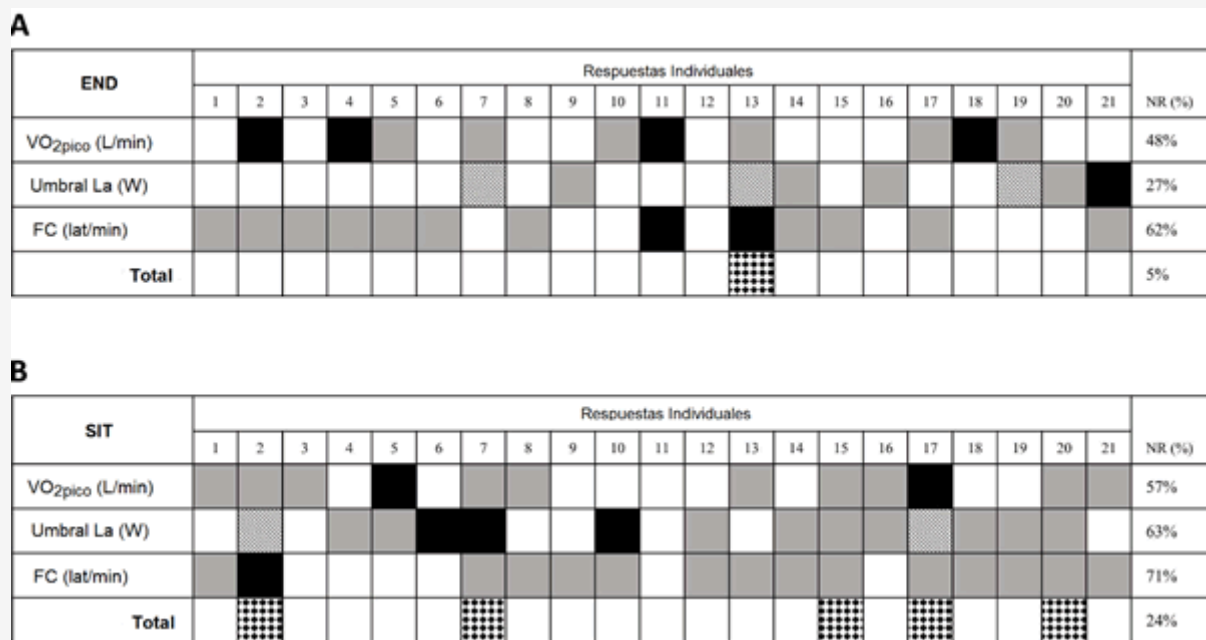


Figura 4. Patrones Individuales de la respuesta luego de tres semanas de entrenamiento.

Las respuestas positivas (espacios en blanco), las no-respuestas (espacios grises) y las respuestas adversas (espacios negros) se muestran para todos los participantes para todas las variables luego de END (A) y de SIT (B). Un espacio en blanco indica que los datos no estaban disponibles para una variable determinada. Los individuos que no mejoraron ninguna variable ya sea para END o SIT, los no-respondedores 'globales' son indicados por el espacio relleno de diamantes negros. El porcentaje de participantes que muestran una no-respuesta (NR; incluyendo tanto respuestas adversas como no respuestas) para cada variable, y en conjunto, también es provisto.

Los t-tests no apareados revelaron que las características básicas usadas de los participantes en el estudio del TE auxiliar no difirieron estadísticamente de los participantes en el presente estudio para todas las variables en la Tabla 2. Dos veces,

el TE fue 0.107 L/min para el VO_{2pico} , 157 W para el umbral de lactato, y 10.0 lat/min para la FC submáxima. Los patrones individuales de la respuesta y tasas de no-respuesta para el VO_{2pico} , el umbral de lactato, y la FC submáxima luego de END y SIT, se presentan en la Fig. 4. Luego del entrenamiento se observaron seis no-respondedores donde un participante no mejoró en una variable medida ya sea después de END o de SIT; sin embargo, en todos los casos estos no-respondedores mejoraron al menos una variable de entrenamiento utilizando el otro protocolo del ejercicio. Los tests de McNemar no revelaron diferencias significativas en la incidencia de la respuesta para el VO_{2pico} ($p = 0.6$), el umbral de lactato ($p = 0.1$), y la FC submáxima ($p = 0.6$) entre END y SIT.

DISCUSIÓN

El estudio actual examinó las respuestas individuales sobre el VO_{2pico} , el umbral de lactato y la frecuencia cardíaca submáxima (FC) de ejercicio luego de tres semanas de END y SIT. El efecto de retraso del período de entrenamiento uno al dos estuvo ausente y la magnitud de respuestas entre los períodos de entrenamiento no fue diferente para cualquier variable. Estos datos resaltan la aplicación eficaz de nuestro diseño de estudio aleatorizado cruzado [29]. En resumen, el estudio actual demuestra la variabilidad inter-individual en las respuestas del entrenamiento a END y SIT e indica que los patrones individuales de respuesta son dependientes del protocolo de entrenamiento utilizado.

Los principales nuevos resultados del estudio actual son que: 1) mientras el END y el SIT aumentaron el VO_{2pico} , el umbral de lactato y la FC submáxima a nivel grupal sin diferencias observadas entre los protocolos, las mejoras dentro de un individuo luego de END no predijeron una mejora observada después de SIT (y viceversa), 2) se observaron patrones individuales de respuesta luego de END y SIT, sin embargo estos patrones variaron dentro de los individuos entre END y SIT, y 3) mientras nuestro análisis reveló que las no-respuestas para una o más variables dentro de la mayoría de los participantes, nosotros no observamos una no-respuesta global a END y SIT en cualquier individuo.

Similares respuestas grupales en las adaptaciones Iniciales a END y SIT

Al nivel de grupo, los protocolos de END fueron eficaces en aumentar el VO_{2pico} y el umbral de lactato [30], mientras que también los protocolos de SIT a intensidades supra-máximas mejoraron el VO_{2pico} [31] y el umbral de lactato [12,13]. Consistente con estos resultados y un trabajo previo de nuestro laboratorio utilizando los mismos protocolos [16], un efecto principal del entrenamiento se observó en el estudio actual para el VO_{2pico} , el umbral de lactato, y la FC submáxima. También consistente con estudios previos que comparan END y SIT [14-16], ninguna diferencia se observó entre los protocolos para la magnitud de la respuesta a nivel de grupo. Mientras el propósito primario de presente estudio no fue determinar que si las respuestas de grupo a END y SIT difieren, la observación de las respuestas de grupo similares a END y SIT puede indicar que un tamaño de muestra más grande es requerido para lograr la fuerza estadística para detectar los efectos de interacción potencial entre los protocolos de entrenamiento.

Variabilidad individual en la sensibilidad a END y SIT

Mientras la variabilidad en las respuestas individuales a END está establecida [2,6,7,19,32,33], nosotros demostramos una variabilidad similar recientemente en la respuesta al protocolo SIT utilizado en el presente estudio [9]. El nuevo hallazgo principal del estudio actual es nuestra demostración de la variabilidad en las respuestas individuales luego de diferentes protocolos de entrenamiento (END y SIT). Específicamente, nuestros resultados demostraron que los protocolos de ejercicio que difieren en la intensidad, tiempo, y demanda metabólica, como END y SIT, pueden inducir respuestas adaptativas diferentes en el VO_{2pico} , el umbral de lactato y la FC submáxima dentro de un individuo determinado. Estos resultados confirman la hipótesis de que individuos que no son sensibles a un protocolo de ejercicio determinado pueden experimentar la adaptación si son expuestos a un protocolo diferente [5], potencialmente debido a las diferentes sensibilidades al volumen de entrenamiento [7] y/o intensidad [32]. Mientras los mecanismos que determinan la variabilidad individual en las sensibilidades a diferentes protocolos de entrenamiento son desconocidos, las predisposiciones genéticas [34] pueden ser la variación responsable de la capacidad las adaptaciones centrales [17] y periféricas [14,35] al entrenamiento. Una disociación similar entre los cambios individuales en el VO_{2pico} se ha observado luego de END y del entrenamiento de la fuerza previamente [33], pero a nuestro conocimiento nosotros somos los primeros en demostrar la variabilidad inter-individual en la respuesta a dos protocolos conocidos de inducir mejoras equivalentes en la capacidad aeróbica a nivel de grupo. En mayor medida, mientras los datos actuales indican que los individuos pueden responder favorablemente a un cambio en el estímulo del entrenamiento, nosotros no podemos descartar la posibilidad de que las respuestas individuales diferentes observadas entre END y SIT fueran un resultado de entrenarse dos veces simplemente en dos momentos diferentes (es decir, es posible que un individuo completando END dos veces no pueda mostrar respuestas idénticas dos veces), diferencias en la actividad física externa entre los períodos de entrenamiento y/o cambios en los hábitos nutricionales causados por los protocolos de entrenamiento diferentes (es decir, END vs SIT), o

entrenamiento en momentos diferentes del año (es decir, primavera vs invierno). Adicionalmente, el presente estudio sólo examinó la variabilidad individual en la respuesta inicial al entrenamiento (es decir, la respuesta a tres semanas de entrenamiento), y parece posible que las diferencias individuales observadas después de tres semanas de END y SIT no pueden persistir después de períodos de entrenamiento más largos. De esta manera, mientras nuestros resultados apoyan la consideración de múltiples protocolos de entrenamiento para intentar optimizar la prescripción del ejercicio individual [36], sigue habiendo datos muy pequeños, y mucho trabajo a futuro todavía es necesario, antes de que nosotros entendamos la sensibilidad inter-individual totalmente hacia distintos protocolos de entrenamiento.

Consistente con las observaciones previas de heterogeneidad en la respuesta individual al END [7,32,33,37] y a SIT [8,9], nosotros también hemos observado tasas significativas de no-respuestas luego de END y SIT en el estudio actual (Fig. 4). El hallazgo presente de que END y SIT produjeron tasas similares de no-respuesta para el $VO_{2\text{pico}}$, el umbral de lactato, y la FC submáxima, está de acuerdo con observaciones previas de END y SIT. Es de notar que mientras la variabilidad inter-individual en la respuesta al entrenamiento ha sido demostrada repetidamente [7,33,37], los intentos para cuantificar a los individuos como respondedores o no-respondedores es relativamente reciente [5-9,32,38]. En el estudio actual, el uso de dos veces el error típico (TE) para identificar respondedores y no-respondedores [21] puede haber llevado a mayores incidencias de no-respuestas que de lo previamente reportado [6-8,32]. Sin embargo, a pesar del uso de este método conservador de identificar a los respondedores, nosotros hemos observado un subconjunto de respondedores adversos al $VO_{2\text{pico}}$, al umbral de lactato, y a la FC submáxima luego de END y SIT, lo cual es consistente con observaciones previas de respuestas adversas al ejercicio para una variedad de factores de riesgo cardiovasculares [5]. Es interesante observar que una no respuesta o respuesta adversa al $VO_{2\text{pico}}$, al umbral de lactato, o a la FC submáxima luego de un protocolo de entrenamiento, no evitó una respuesta positiva luego del otro protocolo de entrenamiento. Recientemente, distintos reportes han recomendado que antes de que los individuos sean clasificados como respondedores o no-respondedores, es importante determinar si la variabilidad en las respuestas individuales dentro de la condición experimental es mayor que la variación dentro del sujeto [39-41]. Mientras nosotros no fuimos capaces de dirigir este análisis debido a nuestro estudio actual por falta de un grupo de control emparejado en tiempo, es importante que los estudios futuros examinen tasas de respuesta/no-respuesta al entrenamiento físico considerando el método recientemente recomendado para realizar estos análisis [39-41]. Aparte de esta limitación, el estudio actual agrega un cuerpo creciente de literatura que identifica una porción de la población que no responde, o responde adversamente al entrenamiento físico e indica que estos no respondedores/respondedores adversos pueden responder más positivamente a diferentes protocolos de entrenamiento.

Mecanismos que subyacen a la variabilidad individual para END y SIT

A pesar de las marcadas diferencias en el estrés fisiológico que ellos imponen, un único turno de END o SIT, provocan respuestas moleculares análogas en el músculo esquelético [16], llevando a adaptaciones periféricas similares incluyendo cambios en la distribución del tipo de fibra [16], mayor capacidad oxidativa del músculo esquelético [14-16,42] y mayor contenido de glucógeno muscular de reposo [14-16]. Es interesante observar que las adaptaciones centrales surgidas a partir de END o SIT son inconsistentes [17,18], sin embargo, sólo las adaptaciones centrales asociadas con seis semanas de END prevalecen como predictores independientes de las respuestas del $VO_{2\text{pico}}$ [43]. Pocos estudios han comparado las adaptaciones centrales y periféricas a múltiples protocolos de entrenamiento y las diferencias significativas en la duración, la frecuencia, y volumen del entrenamiento, limitan la capacidad para comparar e interpretar los resultados de diferentes estudios [43,44]. Mientras la reciente investigación ha mostrado mecanismos que principalmente explican las respuestas adaptativas al entrenamiento [43], la investigación futura es necesaria para determinar si la variabilidad en los mecanismos que subyacen de los cambios en la capacidad/performance del ejercicio, explica la variabilidad de la respuesta individual luego del entrenamiento.

Al nivel individual, la heterogeneidad en ambas adaptaciones centrales [17] como periféricas están presentes luego de END [19,20] y de SIT [14], lo que indica que la variabilidad en las respuestas individuales a END y SIT puede ser debida en parte a la variación individual en la magnitud de las adaptaciones periféricas y centrales. Por qué la variación en las adaptaciones periféricas y/o centrales puede existir dentro de un individuo después de diferentes protocolos de entrenamiento es actualmente desconocido, sin embargo, la evidencia del estudio de HERENCIA (HERITAGE Study) indica que mucha de esta variabilidad puede resultar de una predisposición genética a un tipo de estímulo específico de entrenamiento [2]. Es interesante observar que la reciente evidencia ha encontrado asociaciones entre varios marcadores genéticos y respuestas individuales al entrenamiento [34,45,46], sin embargo, mientras estos resultados son un paso para perfeccionar las prescripciones del ejercicio en forma individual [34], si existen signos genéticos que pueden predecir qué tipo de entrenamiento un individuo es muy probablemente de responder, es desconocido. Esto sigue siendo un aspecto interesante e importante para la investigación futura.

Patrones individuales de respuesta

Luego de END y SIT, nosotros observamos patrones individuales de respuesta donde necesariamente no se asociaron mejoras en el $VO_{2\text{pico}}$ con las mejoras en el umbral de lactato o en la FC submáxima (Fig. 4). La existencia de patrones

individuales de la respuesta es consistente con estudios previos que demuestran que los no-respondedores en el $VO_{2\text{pico}}$ pueden ser respondedores a otras variables asociadas con el END [6,19] y SIT [8,9]. Un nuevo hallazgo adicional del presente estudio es que los patrones individuales de respuesta eran diferentes luego de END y SIT. Esta variabilidad en los patrones individuales de respuesta significa que, aunque varios individuos no mejoraron alguna variable luego ya sea de END como de SIT, ningún no-respondedor 'global' (es decir, individuos que no mejoraron siguiendo cualquiera de los protocolos) fue observado. Estos resultados apoyan aún más la consideración de múltiples protocolos de entrenamiento al prescribir el ejercicio, y eleva la posibilidad de que un individuo que no parece estar respondiendo a una prescripción de ejercicio inicial puede responder más favorablemente si un modo alternativo de entrenamiento es prescrito. Como continuar el estímulo del entrenamiento más allá de la exposición inicial (cuatro semanas) reduce la incidencia de no-respuesta en el $VO_{2\text{pico}}$ [32], si cambiando los protocolos del entrenamiento después de la exposición inicial o extender la cantidad de prescripción del entrenamiento son igualmente eficaces en disminuir las no-respuestas, es un área que debe investigarse a futuro.

CONCLUSIÓN

El estudio actual evaluó las respuestas individuales en el $VO_{2\text{pico}}$, el umbral de lactato, y la frecuencia cardíaca submáxima (FC) de ejercicio luego de tres semanas de END y SIT. Mientras que el entrenamiento provocó significativas mejoras en todas las variables a nivel de grupo, una heterogeneidad considerable se observó en las respuestas individuales que incluyen varios no-respondedores/respondedores adversos. Además, patrones individuales de respuesta no fueron relacionados a través de END y SIT, y parecen ser dependientes del protocolo de entrenamiento. Todos los participantes demostraron una respuesta positiva en al menos una variable luego de la realización de ambos protocolos END y SIT, lo que indica que la existencia de verdaderos no-respondedores al entrenamiento físico es improbable y que diferentes protocolos de entrenamiento deben ser considerados al optimizar la prescripción del ejercicio en forma individual.

Información de apoyo

Muestra 1/1: pone.0167790.s001.xlsx

[Descarga](#)

[S1 Tabla](#).

Agradecimientos

Los autores agradecen a Elizabeth Mathew y Wendy Fu por su ayuda con el análisis de datos de la FC y a un grupo especializado de voluntarios por su ayuda dirigiendo las sesiones de entrenamiento.

REFERENCIAS

1. Kohrt WM, Malley MT, Coggan AR, Spina RJ, Ogawa T, Ehsani AA, et al. (2004). Effects of gender, age, and fitness level on response of $VO_{2\text{max}}$ to training in 60-71 yr olds. *J Appl Physiol [Internet]*. 1991 Nov [cited 2016 Feb 28];71(5):2004-11.
2. Bouchard C, Rankinen T. (2001). Individual differences in response to regular physical activity. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(6 Suppl):S446-51; discussion S452-3.
3. Skinner JS, Jaskólski a, Jaskólska a, Krasnoff J, Gagnon J, Leon a S, et al. (2001). Age, sex, race, initial fitness, and response to training: the HERITAGE Family Study. *J Appl Physiol*. 2001;90(5):1770-6.
4. Karavirta L, Häkkinen K, Kauhanen A, Arija-Blázquez A, Sillanpää E, Rinkinen N, et al. (2011). Individual responses to combined endurance and strength training in older adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(3):484-90.
5. Bouchard C, Blair SN, Church TS, Earnest CP, Hagberg JM, Häkkinen K, et al. (2012). Adverse metabolic response to regular exercise: Is it a rare or common occurrence? *PLoS One*. 2012;7(5).
6. Scharhag-Rosenberger F, Walitzek S, Kindermann W, Meyer T. (2012). Differences in adaptations to 1 year of aerobic endurance training: Individual patterns of nonresponse. *Scand J Med Sci Sport*. 2012;22(1):113-8.
7. Sisson SB, Katzmarzyk PT, Earnest CP, Bouchard C, Blair SN, Church TS. (2009). Volume of exercise and fitness nonresponse in sedentary, postmenopausal women. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(3):539-45.
8. Astorino TA, Schubert MM. (2014). Individual responses to completion of short-term and chronic interval training: A retrospective study. *PLoS One*. 2014;9(5).

9. Gurd BJ, Giles MD, Bonafiglia JT, Raleigh JP, Boyd JC, Ma JK, et al. (2016). Incidence of nonresponse and individual patterns of response following sprint interval training. *Appl Physiol Nutr Metab [Internet]*. 2016;41(3):229-34.
10. Gist NH, Fedewa M V., Dishman RK, Cureton KJ. (2014). Sprint Interval Training Effects on Aerobic Capacity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sport Med [Internet]*. 2014;44(2):269-79.
11. Sloth M, Sloth D, Overgaard K, Dalgas U. (2013). Effects of sprint interval training on VO₂max and aerobic exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports [Internet]*. 2013;23(6):e341-52.
12. Esfarjani F, Laursen PB. (2007). Manipulating high-intensity interval training: Effects on, the lactate threshold and 3000m running performance in moderately trained males. *J Sci Med Sport [Internet]*. 2007;10(1):27-35.
13. Zelt JGE, Hankinson PB, Foster WS, Williams CB, Reynolds J, Garneys E, et al. (2014). Reducing the volume of sprint interval training does not diminish maximal and submaximal performance gains in healthy men. *Eur J Appl Physiol [Internet]*. 2014;
14. 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.
15. Burgomaster K a, 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*. 2008;586(1):151-60.
16. Scribbans TD, Edgett BA, Vorobej K, Mitchell AS, Joannis SD, Matusiak JBL, et al. (2014). Fibre-specific responses to endurance and low volume high intensity interval training: Striking similarities in acute and chronic adaptation. *PLoS One*. 2014;9(6).
17. MacPherson REK, Hazell TJ, Olver TD, Paterson DH, Lemon PWR. (2011). Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(1):115-22.
18. Matsuo T, Saotome K, Seino S, Shimojo N, Matsushita A, Iemitsu M, et al. (2014). Effects of a low-volume aerobic-type interval exercise on 2max and cardiac mass. *Med Sci Sports Exerc*. 2014;46(1):42-50.
19. Vollaard NBJ, Constantin-Teodosiu D, Fredriksson K, Rooyackers O, Jansson E, Greenhaff PL, et al. (2009). Systematic analysis of adaptations in aerobic capacity and submaximal energy metabolism provides a unique insight into determinants of human aerobic performance. *J Appl Physiol*. 2009;106(5):1479-86.
20. McPhee JS, Williams AG, Perez-Schindler J, Degens H, Baar K, Jones DA. (2011). Variability in the magnitude of response of metabolic enzymes reveals patterns of co-ordinated expression following endurance training in women. *Exp Physiol*. 2011;96(7):699-707.
21. Hopkins WG. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*. 2000;30(1):1-15.
22. Edgett BA, Foster WS, Hankinson PB, Simpson CA, Little JP, Graham RB, et al. (2013). Dissociation of Increases in PGC-1 α and Its Regulators from Exercise Intensity and Muscle Activation Following Acute Exercise. *PLoS One [Internet]*. 2013;8(8):e71623.
23. Bishop D, Jenkins DG, Mackinnon LT. (1998). The relationship between plasma lactate parameters, Wpeak and 1-h cycling performance in women. *Med Sci Sports Exerc [Internet]*. 1998 Aug [cited 2015 Nov 25];30(8):1270-5.
24. Heck H, Mader A, Hess G, Mucka S, Muller R, Hollmann W. (1985). Justification of the 4-mmol/l Lactate Threshold. *Int J Sports Med*. 1985;6(3):117-30.
25. Bentley DJ. (2007). Incremental Exercise Test Design and Analysis. *Sport Med*. 2007;37(7):575-86.
26. Svedahl K, MacIntosh BR. (2003). Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Can J Appl Physiol*. 2003;28(2):299-323.
27. Faude O, Kindermann W, Meyer T. (2009). Lactate threshold concepts: How valid are they? *Sport Med [Internet]*. 2009;39(6):469-90.
28. Borg GA V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14(5):377-81.
29. Wellek S, Blettner M. (2012). On the Proper Use of the Crossover Design in Clinical Trials. *Dtsch Arztebl Int*. 2012;109(15):276-81.
30. Jones AM, Carter H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med*. 2000;29(6):373-86.
31. Bacon AP, Carter RE, Ogle EA, Joyner MJ. (2000). VO₂max Trainability and High Intensity Interval Training in Humans: A Meta-Analysis. *PLoS One*. 2013;8(9).
32. Ross R, de Lannoy L, Stotz PJ. (2015). Separate Effects of Intensity and Amount of Exercise on Interindividual Cardiorespiratory Fitness Response. *Mayo Clin Proc [Internet]*. Elsevier Inc; 2015;90(11):1-9.
33. Hautala AJ, Kiviniemi AM, Mäkikallio TH, Kinnunen H, Nissilä S, Huikuri H V., et al. (2006). Individual differences in the responses to endurance and resistance training. *Eur J Appl Physiol*. 2006;96(5):535-42.
34. Timmons JA, Knudsen S, Rankinen T, Koch LG, Jensen T, Keller P, et al. (2012). Using molecular classification to predict gains in maximal aerobic capacity following endurance exercise training in humans programs Using molecular classification to predict gains in maximal aerobic capacity following endurance exercise training in human. *J Appl Physiol*. 2012;
35. Granata C, Oliveira RSF, Little JP, Renner K, Bishop DJ. (2015). Training intensity modulates changes in PGC-1 and p53 protein content and mitochondrial respiration, but not markers of mitochondrial content in human skeletal muscle. *FASEB J [Internet]*.
36. Buford TW, Roberts MD, Church TS. (2013). Toward exercise as personalized medicine. *Sport Med*. 2013;43(3):157-65.
37. Bouchard C, An P, Rice T, Skinner JS, Wilmore JH, Gagnon J, et al. (1999). Familial aggregation of V_o 2 max response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study. *J Appl Physiol [Internet]*. 1999;87(3):1003-8.
38. Wolpern AE, Burgos DJ, Janot JM, Dalleck LC. (2015). Is a threshold-based model a superior method to the relative percent concept for establishing individual exercise intensity? a randomized controlled trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil [Internet]*. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*; 2015;7(1):16.
39. Hopkins WG. Individual responses made easy. (2015). *J Appl Physiol [Internet]*. 2015;118(12):1444-6.
40. Hecksteden A, Kraushaar J, Scharhag-Rosenberger F, Theisen D, Senn S, Meyer T. (2015). Individual response to exercise training

- a statistical perspective. *J Appl Physiol*. 2015;118:1450-9.
41. Atkinson G, Batterham AM. (2015). True and false inter-individual differences in the physiological response to an intervention. *Exp Physiol [Internet]*. 2015;6:1-29.
 42. Ma JK, Scribbans TD, Edgett BA, Boyd CJ, Simpson CA, Little JP, et al. (2013). Extremely low-volume, high-intensity interval training improves exercise capacity and increases mitochondrial protein content in human skeletal muscle. *Open J Mol Integr Physiol [Internet]*. 2013;03(04):202-10.
 43. Montero D, Cathomen A, Jacobs RA, Flück D, de Leur J, Keiser S, et al. (2015). Haematological rather than skeletal muscle adaptations contribute to the increase in peak oxygen uptake induced by moderate endurance training. *J Physiol [Internet]*. 2015;593(20):4677-88.
 44. Jacobs RA, Flück D, Bonne TC, Bürgi 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 [Internet]*. 2013;115(6):785-93.
 45. Bouchard C, Sarzynski MA, Rice TK, Kraus WE, Church TS, Sung YJ, et al. (2011). Genomic predictors of the maximal O₂ uptake response to standardized exercise training programs. *J Appl Physiol*. 2011;110(5):1160-70.
 46. He Z, Hu Y, Feng L, Li Y, Liu G, Xi Y, et al. (2007). NRF-1 genotypes and endurance exercise capacity in young Chinese men. *Br J Sports Med*. 2008;42(5):361-6. doi: 10.1136/bjism.2007.042945.

Cita Original

Bonafiglia JT, Rotundo MP, Whittall JP, Scribbans TD, Graham RB, Gurd BJ (2016) Inter-Individual Variability in the Adaptive Responses to Endurance and Sprint Interval Training: A Randomized Crossover Study. *PLoS ONE* 11(12): e0167790. doi:10.1371/journal.pone.0167790