

Article

Adaptaciones Cardiorespiratorias Durante el Entrenamiento Concurrente Aeróbico y de Fuerza en Hombres y Mujeres

Cardiorespiratory Adaptations during Concurrent Aerobic and Strength Training in Men and Women

Moritz Schumann, Kaisu Yli-Peltola, Chris R. Abbiss y Keijo Häkkinen

RESUMEN

Este estudio investigó los efectos del entrenamiento de la resistencia seguido por uno de fuerza (RF, hombres $n = 16$; las mujeres $n = 15$), el orden inverso del ejercicio (FR, hombres $n = 18$, mujeres $n = 13$) y el entrenamiento de la fuerza y de la resistencia concurrente realizado en días alternados (DA, hombres $n = 21$, mujeres $n = 18$), sobre parámetros cardiorespiratorios. El consumo de oxígeno pico (VO_{2pico}) y el consumo de oxígeno a potencias sub-máximas ($VO_{2submáx}$) de 50 a 175 watts en hombres y de 50 a 125 watts en mujeres durante un test de pedaleo incremental, tanto antes como después de 24 semanas de entrenamiento. Los aumentos en el VO_{2pico} en hombres y mujeres fueron estadísticamente más grandes en DA ($18 \pm 9\%$ y $25 \pm 11\%$) comparado a RF ($7 \pm 9\%$ y $12 \pm 12\%$, $p = 0.002$ y 0.009 , respectivamente) y FR ($7 \pm 9\%$ y $10 \pm 8\%$, $p = 0.005$ y 0.008 , respectivamente). Ninguna interacción estadística de grupo se observó para el $VO_{2submáx}$ en los hombres, pero en las mujeres el $VO_{2submáx}$ fue estadísticamente menor en la semana 24 en RF comparado a DA a 75 W ($-2 \pm 6\%$ vs $+3 \pm 6\%$, $p = 0.027$) y a 125 W ($-4 \pm 5\%$ vs $+2 \pm 5\%$, $p = 0.010$). Estos resultados indican que el entrenamiento de la fuerza y de la resistencia realizado en días alternados puede optimizar las adaptaciones en el VO_{2pico} en ambos sexos, mientras que realizando un entrenamiento RF en las mujeres pueden optimizar el fitness cardiorespiratorio a potencias sub-máximas.

Palabras Clave: Adaptación cardiorespiratoria, Entrenamiento concurrente; Hombres, Mujeres.

ABSTRACT

This study investigated the effects of endurance followed by strength training (ES, men $n = 16$; women $n = 15$), the reverse exercise order (SE, men $n = 18$, women $n = 13$) and concurrent endurance and strength training performed on alternating days (AD, men $n = 21$, women $n = 18$) on cardiorespiratory parameters. Peak oxygen consumption (O_{2peak}) and oxygen consumption at sub-maximal power outputs ($O_{2submax}$) of 50 to 175 Watts in men and 50 to 125 Watts in women were assessed during an incremental cycling test both before and after 24 weeks of training. Increases in O_{2peak} in both men and women were statistically larger in AD ($18 \pm 9\%$ and $25 \pm 11\%$) compared to ES ($7 \pm 9\%$ and $12 \pm 12\%$, $p = 0.002$ and 0.009 , respectively) and SE ($7 \pm 9\%$ and $10 \pm 8\%$, $p = 0.005$ and 0.008 , respectively). No statistical group interaction was observed for $O_{2submax}$ in men, but in women $O_{2submax}$ was statistically lower at week 24 in ES

compared to AD at 75 W ($-2\pm 6\%$ vs. $+3\pm 6\%$, $p = 0.027$) and 125 W ($-4\pm 5\%$ vs. $+2\pm 5\%$, $p = 0.010$). These findings indicate that endurance and strength training performed on alternating days may optimize the adaptations in O_2 peak in both sexes, while performing ES training in women may optimize cardiorespiratory fitness at sub-maximal power outputs.

Keywords: cardiorespiratory adaptation, concurrent training, men, women.

INTRODUCCIÓN

Está bien establecido que un bajo fitness cardiorespiratorio y neuromuscular está asociado con una mortalidad mayor en hombres y mujeres [1-3]. A fin de neutralizar una disminución en la aptitud física a lo largo de la vida, las recomendaciones globales del ejercicio hacen pensar en una combinación de tanto el entrenamiento de la fuerza como de la resistencia [4]. Sin embargo, mientras ambos aspectos del fitness son importantes en el mantenimiento de la salud en general, muchas pautas a menudo pasan por alto las posibles complicaciones del entrenamiento concurrente aeróbico y de la fuerza, conocido como el efecto de la interferencia [5]. En realidad, dada que la disponibilidad de tiempo es la barrera normalmente reportada para la adhesión a las pautas de ejercicio [6], un mejor conocimiento del efecto de la interferencia ayudará a optimizar la prescripción del ejercicio eficaz en tiempo.

Típicamente, la combinación del entrenamiento de la fuerza y de la resistencia dentro del mismo programa de entrenamiento produce un desarrollo comprometido de la fuerza e hipertrofia muscular, cuando el número total de sesiones de entrenamiento semanales es alto [5,7]. Sin embargo, para nuestro mejor conocimiento, sólo un estudio de entrenamiento ha indicado que el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2\text{máx}}$) puede componer estar comprometido después de un período prolongado (20 semanas) de entrenamiento de la fuerza y de la resistencia concurrente en hombres [8], mientras la mayoría de los estudios no mostró atenuación de los cambios inducidos por el entrenamiento concurrente sobre el $VO_{2\text{máx}}$ [7].

En base a los estudios previos, parece ser que las adaptaciones al entrenamiento combinado pueden ser dependientes de si el entrenamiento de la fuerza y de la resistencia se realiza dentro de la misma sesión de entrenamiento o en días alternados [9,10]. Sin embargo, Sale y cols. [10] encontraron que las mejoras en $VO_{2\text{máx}}$ eran similares al realizar el entrenamiento de la fuerza y de la resistencia en los mismos días o días alternados. Mientras estos resultados indican que esas adaptaciones cardiorespiratorias pueden estar inalteradas por el modo de entrenamiento concurrente, el $VO_{2\text{máx}}$ es sólo un aspecto de la función cardiorespiratoria y su rol como el indicador más importante del fitness cardiorespiratorio ha sido cuestionado previamente [11]. A nuestro conocimiento, ningún estudio de entrenamiento prolongado ha examinado todavía la influencia de cualquier modo del entrenamiento combinado en otras adaptaciones cardiorespiratorias importantes como los umbrales metabólicos, el consumo de oxígeno sub-máximo o economía de movimiento.

Es importante destacar que en el estudio de Sale y cols. [10] ninguna diferenciación entre los órdenes del ejercicio (es decir, comenzar una sesión del entrenamiento combinado con resistencia o con fuerza) fue hecha. Varios estudios agudos, sin embargo, han dado a conocer la evidencia de una reducida economía de trabajo durante la carrera por varias horas después de una sobrecarga de fuerza típica de tren inferior [12-14] y durante el pedaleo luego de un ejercicio de fuerza pliométrico [15]. Como las reducciones agudas repetidas en la economía del ejercicio pueden ser perjudiciales a las adaptaciones cardiorespiratorias beneficiosas en sujetos sin experiencia pero posiblemente pueden dar un estímulo de entrenamiento adicional para los atletas, los efectos a largo plazo de tal régimen de entrenamiento permanecen sin ser investigados.

El propósito de este estudio fue investigar los efectos del orden de entrenamiento de la fuerza y de la resistencia dentro de la misma sesión del entrenamiento combinado y los efectos del entrenamiento concurrente prolongado realizado en días alternados sobre el fitness cardiorespiratorio (es decir, $VO_{2\text{pico}}$, consumo de oxígeno submáximo, eficiencia motriz y umbrales metabólicos) en hombres y mujeres. Se formuló la hipótesis de que empezando el entrenamiento combinado en la misma sesión con el ejercicio de fuerza podría llevar a adaptaciones cardiorespiratorias compuestas, comparado con el entrenamiento combinado de la fuerza y de la resistencia realizado en el orden opuesto de ejercicio o en días alternados. Este estudio ampliará un trabajo previo en el que hemos investigado los efectos del orden del ejercicio del entrenamiento combinado en la misma sesión (resistencia seguido por la fuerza o viceversa) sobre los cambios en la aptitud física y la composición corporal en hombres físicamente activos [16] y en mujeres [17] y el rendimiento neuromuscular luego de tres modos de entrenamiento combinado en hombres [10].

MATERIALES Y MÉTODOS

Sujetos

Un total de 140 hombres (n = 70) y mujeres (n = 70) sanos fueron reclutados para participar en este estudio. El estado de salud y de actividad iniciales de los sujetos fue evaluado por una entrevista telefónica estandarizada. Los sujetos eran moderadamente activos, caracterizados por ejercicio de caminata irregular, pedaleo o deportes de equipos en forma ocasional de moderada a liviana intensidad, y no más de 3 veces por semana. Los sujetos no estaban sometidos en entrenamiento sistemático o estructurado de resistencia o de fuerza antes del estudio. El estudio fue dirigido según la Declaración de Helsinki y la aprobación ética fue concedida por el Comité de Ética de la Universidad de Jyväskylä. Los sujetos fueron informados sobre los posibles riesgos de todos los procedimientos del estudio antes de dar el consentimiento informado por escrito. Los sujetos completaron una encuesta de salud que junto con un electrocardiograma del reposo fue revisado por un cardiólogo antes de participar en el estudio. Todos los sujetos se reportaron, según los informes recibidos, libres de enfermedad aguda y crónica, lesión y uso de medicaciones que contraindicarían el rendimiento de actividad física intensa. De los 140 sujetos originalmente reclutados, 39 (15 hombres y 24 mujeres) no completaron el estudio o no fueron incluidos en el análisis de los datos debido a una adhesión al entrenamiento de menos del 85%. Las características demográficas de todos los sujetos incluidos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características antropométricas de los sujetos dentro de RF, FR y DA.

		Edad (años)	Peso Corp. (kg)	Altura (cm)	BMI
Hombres	RF (n = 16)	30±6	81±12	178±6	25±3
	FR (n = 18)	30±4	76±9	179±5	24±2
	DA (n = 21)	29±6	82±11	180±7	26±4
Mujeres	RF (n = 15)	30±5	68±11	168±6	24±3
	FR (n = 13)	29±4	63±8	164±5	24±4
	DA (n = 18)	30±8	68±9	168±5	24±3

Diseño del estudio

A lo largo de la duración del estudio, los sujetos realizaron 24 semanas de entrenamiento supervisado. Después del registro de salud, los sujetos fueron emparejados por el rendimiento físico a uno de los siguientes grupos de entrenamiento: i) entrenamiento de la resistencia inmediatamente seguido por el entrenamiento de la fuerza (hombres, RF n = 16; mujeres, RF, n = 15), ii) entrenamiento de la fuerza inmediatamente seguido por el entrenamiento de la resistencia (hombres, FR, n = 18; mujeres, FR, n = 13), o iii) el entrenamiento de la fuerza y de la resistencia realizado en días alternados (hombres, DA, n = 21; mujeres, DA, n = 18). Como este estudio iba a investigar las diferencias entre tres diferentes modos de entrenamiento concurrente, un grupo de control sin entrenamiento no fue incluido. Antes de, así como después de 12 y 24 semanas de entrenamiento se evaluaron el fitness cardiorespiratorio y la fuerza de los sujetos. La evaluación del fitness cardiorespiratorio y de la fuerza fue conducida a lo largo de dos días separados en un momento similar del día (es decir, ±1 hs). La evaluación en la semana 12 y 24 estaba separada del entrenamiento por al menos dos días de recuperación. Se les exigió a los sujetos mantener una ingesta nutricional a lo largo del período del estudio.

Entrenamiento de la fuerza y de la resistencia

Se les pidió a los sujetos mantener la actividad física habitual individual (por ejemplo, caminata ligera, pedaleo y práctica ocasional en deportes de equipos) a lo largo del período del estudio. Todo el entrenamiento prescrito en el estudio fue supervisado por instructores calificados. El entrenamiento fue diseñado para reflejar un programa apuntado para las poblaciones físicamente activas según recomendaciones delineadas por el *American College of Sports Medicine* [18]. El objetivo principal era mejorar la aptitud física a través de un programa periodizado que incluía ejercicios aeróbicos de moderada y de vigorosa intensidad combinados con protocolos de ejercicio de fuerza hipertrófica y máxima.

El volumen de entrenamiento total se emparejó entre todos los grupos de entrenamiento para que todos los sujetos adhirieran al mismo programa de entrenamiento, mientras que el modo de entrenamiento de la fuerza y de la resistencia difería entre los tres grupos en hombres y mujeres. Los hombres y mujeres asignadas al entrenamiento RF o FR realizaron 2 sesiones de entrenamiento combinado (empezando con resistencia o fuerza, respectivamente) por semana durante las

semanas 1-12 y 2-3 sesiones de entrenamiento combinado por semana durante las semanas 13-24. Se les pidió a los sujetos proceder desde la primera carga (es decir, R o F, respectivamente) a la carga subsecuente (es decir, F o R, respectivamente) dentro de 5-10 minutos. Los sujetos asignados al grupo DA realizaron el mismo volumen de entrenamiento como RF y FR pero llevaron a cabo el entrenamiento de la fuerza y de la resistencia en días alternados (es decir, un total de 4 sesiones de entrenamiento durante las semanas 1-12 y de 4-6 sesiones de entrenamiento durante las semanas 13-24). La carga de entrenamiento se reducía en las semanas 12 y 24, bajando el volumen e intensidad de entrenamiento para evitar la fatiga antes de la evaluación, es decir, disminuyendo el número de series y bajando las cargas del entrenamiento de la fuerza, así como reduciendo la duración y el tiempo total empleado a alta intensidad (es decir, sobre el umbral anaeróbico) durante el pedaleo de resistencia. La frecuencia de entrenamiento se mantuvo durante este período.

El programa del entrenamiento de la fuerza y de la resistencia se ha descrito en detalle en otra parte [16]. Brevemente, la intensidad del entrenamiento de la resistencia era controlada vía frecuencia cardíaca (S410 Polar, Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia) asociada con el umbral aeróbico y anaeróbico de cada sujeto, determinados durante las mediciones en la semana 0 y 12, respectivamente. Los sujetos fueron instruidos en mantener una frecuencia de pedaleo constante a aproximadamente 70 rpm durante cada sesión de entrenamiento, mientras la resistencia magnética del ergómetro era ajustada para lograr la carga de ejercicio requerida. La intensidad del ejercicio progresaba desde el pedaleo en estado estable de baja a moderada intensidad (debajo de y sobre el umbral aeróbico) durante las semanas 1-7, hasta sesiones de intervalos de alta intensidad durante las semanas 8-12. Similarmente, la duración del pedaleo de resistencia progresivamente iba aumentando a lo largo de las 12 semanas de entrenamiento de 30 a 50 min. Durante el segundo período de 12 semanas, la estructura del programa de resistencia básica fue mantenida, mientras el volumen e intensidad del entrenamiento eran incrementados aún más.

Las cargas usadas durante el programa del entrenamiento de la fuerza presente fueron determinadas por el número de repeticiones y velocidad de ejecución y progresivamente se aumentaron a lo largo de los dos períodos de 12 semanas. Los ejercicios para el tren inferior eran el press de piernas horizontal dinámico bilateral así como la extensión y flexión de rodillas dinámica bilateral y unilateral. Los ejercicios adicionales para el tren superior incluyeron el press vertical sentado dinámico y el tirón de polea alta así como ejercicios que normalmente mejoran la estabilidad del tronco (curls, rotación del torso y extensión de la espalda baja). El número de series y cargas usadas progresivamente aumentaban durante las primeras 12 semanas de entrenamiento (de 2-4 series de 15-20 repeticiones con 1 minuto de pausa entre las series y una intensidad del 40-60% de 1MR, a 2-5 series de 3-5 repeticiones al 85-95% de 1MR con 3 minutos de pausa entre las series), llevando a una duración total de 30-50 minutos por sesión de entrenamiento. Durante el segundo período de 12 semanas, la estructura del programa de fuerza básica se mantuvo, mientras el volumen y la frecuencia de entrenamiento eran ligeramente mayores a fin de maximizar los resultados de fitness y de salud, y evitar un *plateau* de entrenamiento.

Fitness cardiorespiratorio

Después de evaluar la masa corporal en una escala digital, los sujetos realizaron un test de pedaleo incremental en un cicloergómetro (Ergometrics 800, Ergoline, Bitz, Alemania) para la determinación de los umbrales aeróbico y anaeróbico y consumo de oxígeno pico (VO_{2pico}) y consumo de oxígeno sub-máximo ($VO_{2submáx}$). El protocolo empezaba a 50 W y aumentaba por 25 W cada 2 minutos. Los sujetos tenían que mantener una frecuencia de pedaleo de 70 rpm a lo largo del test. El test era detenido cuando los sujetos no mantenían la cadencia requerida por más de 15 segundos. El consumo de oxígeno fue determinado respiro-a-respiro usando un analizador de gases (Oxycon Pro, Jaeger, Hoechberg, Alemania). En cada día de la evaluación la calibración del flujo de aire se realizó usando un corrector de flujo manual. Antes de cada test, la calibración del flujo de aire automática era realizada y el analizador de gases era calibrado usando una mezcla de gases certificada de 16% O_2 y 4% CO_2 . El VO_{2pico} fue calculado como el valor de O_2 más alto promediado durante 60 segundos. El $VO_{2submáx}$ fue calculado como el VO_2 promedio durante el segundo minuto en cada potencia.

La eficiencia gruesa fue calculada del consumo de O_2 y la producción de CO_2 , promediada durante el segundo minuto en cada potencia como previamente que terminado por Moseley y Jeukendrup [19]:

$$\text{Eficiencia mecánica} = (\text{potencia [W]}) / (\text{energía gastada (J} \cdot \text{seg}^{-1}) \times 100\%$$

La potencia pico en watts fue calculada como previamente fue terminado por Kuipers [20], usando la ecuación:

$$\text{Pico de potencia en watts} = W_{com} + (t/120) * 25$$

donde W_{com} es que la carga de la última fase completada y t es el tiempo de la última fase incompleta en segundos.

La frecuencia cardíaca fue monitoreada a lo largo del test del pedaleo incremental (S410 Polar, Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia) con el promedio de los últimos 5 segundos de cada fase registrado para el análisis. Las muestras de sangre capilar (20 μ L) fueron obtenidas de la yema de los dedos en cápsulas de reacción que contienen un agente hemolizante y anticoagulante, al final de cada fase para la determinación de las concentraciones del lactato sanguíneo. Las

concentraciones de lactato fueron analizadas usando un analizador Biosen (C_line Clinic, EKF, Magdeburg, Alemania). El umbral aeróbico y el umbral anaeróbico individuales para la determinación de las intensidades de entrenamiento se evaluaron usando puntos de deflexión obtenidos trazando curvas de concentraciones del lactato sanguíneo, ventilación, consumo de oxígeno y producción del dióxido de carbono [21]. Para las comparaciones estadísticas objetivas de los tres modos de entrenamiento, la potencia y la frecuencia cardíaca en 4 mmol·L⁻¹ de concentración de lactato sanguíneo (OBLA) también fueron determinadas [22].

Escala alométrica

Típicamente se han expresado el consumo de oxígeno pico y sub-máximo en mililitros por kilogramo (de masa corporal) por minuto. Sin embargo, la investigación previa ha demostrado que la relación entre el consumo de oxígeno y la masa corporal no es lineal [23,24]. Como tal, el escalamiento alométricamente del consumo de oxígeno puede ofrecer una mejor indicación de los cambios inducidos por el entrenamiento. Aunque los cambios considerables inducidos por el entrenamiento en la masa corporal no fueron esperados en el presente estudio, el consumo de oxígeno pico y sub-máximo se reportaron y se analizaron ambos como valores absolutos y fueron escalonados a la masa corporal a la potencia de 0.75 (ml·kg⁻¹·min⁻¹) [24].

Evaluación de la fuerza

Una máxima repetición (1MR) de extensores de la pierna fue determinado usando un dispositivo de prensa de pierna bilateral horizontal dinámico ((David 210, David Health Solutions, Finlandia). Después de una entrada en calor (1 serie de 5 repeticiones al 70% de 1MR estimada, 1 serie de 2 repeticiones al 80-85% de 1MR estimada, 1 serie de 1 repetición al 90-95% de 1MR estimada), un máximo de 5 pruebas fueron permitidas para obtener una verdadera 1MR. El dispositivo fue puesto de forma que el ángulo de la rodilla en la posición inicial flexionada era de aproximadamente 60 grados y una prueba exitosa era aceptada cuando las rodillas estaban totalmente extendidas (~180 grados). La carga máxima que el sujeto podría levantar hasta la extensión completa de la rodilla a una exactitud de 1.25 kg, fue aceptada como 1MR.

Análisis estadístico

Los datos son presentados como promedios ±SD. Después de evaluar la normalidad de distribución, las diferencias de entre grupo e intra grupo de todas las variables fueron examinadas usando un ANOVA mixto con medidas repetidas y los análisis post-hoc se realizaron usando los ajustes de Bonferroni. A fin de ajustar los datos para los valores basales, se sustrajeron los valores absolutos observados en la semana 0 de los valores correspondientes de las semanas 12 y 24. Se analizaron el consumo de oxígeno, la eficacia motriz, la frecuencia cardíaca y las concentraciones del lactato sanguíneo de trabajos sub-máximos durante la prueba de ergómetro de bicicleta incremental de cargas de trabajo completadas por todos los sujetos (es decir, 50, 75, 100, 125, 150 y 175 W en los hombres y 50, 75, 100 y 125 W en las mujeres). La significancia estadística para todas las pruebas fue establecida en $p \leq 0.05$, mientras valores de ≤ 0.07 fueron aceptados como una tendencia. Los datos se analizaron usando IBM SPSS Predictive Analytics (version 20.0, IBM Inc., Chicago, IL, EE.UU.).

RESULTADOS

La adhesión al entrenamiento

La adhesión al entrenamiento promedio en los hombres fue del 99±2%, 99±2% y 100±1% en RF, FR y DA, respectivamente. La adhesión al entrenamiento promedio en las mujeres fue de 98±4%, 99±2% y 99±2% en RF, FR y DA, respectivamente.

Peso corporal

La masa corporal en la línea de base se presenta en la Tabla 1. El peso corporal permaneció inalterado estadísticamente en todos los grupos de entrenamiento. En las mujeres, una tendencia para una diferencia entre los cambios en DA comparado a FR (-2±5 vs +2±4%, $p = 0.067$) se observó en la semana 24.

Tabla 2. El consumo de oxígeno pico, la potencia pico en watts y la fuerza de 1MR en el press de piernas dinámico antes de (0), a las 12 semanas y a las 24 semanas después de RF, FR y DA.

		Semana 0	Semana 12	Semana 24
Hombres	Resistencia-Fuerza			
	VO _{2pico} (L·min ⁻¹)	3.38±0.50	3.54±0.48*†	3.59±0.55*†
	VO _{2pico} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	42.2±7.2	44.0±6.3#	44.6±5.1*
	VO _{2pico} (ml·kg ⁻⁷⁵ ·min ⁻¹)	126.07±19.5†	131.6±17.3*†	133.3±15.2*†
	Potencia pico (W)	268±39	287±38*	300±38*§
	1MR (kg)	157±30	170±27*	175±27*§
	Fuerza-Resistencia			
	VO _{2pico} (L·min ⁻¹)	3.20±0.44	3.44±0.41*	3.42±0.35*†
	VO _{2pico} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	42.5±7.0	45.2±6.9*	45.3±6.9*
	VO _{2pico} (ml·kg ⁻⁷⁵ ·min ⁻¹)	125.0±19.0†	133.4±18.2*	133.3±17.9*†
	Potencia pico (W)	245±35	268±37*	284±37*§
	1MR (kg)	143±23	160±21*	166±20*§
	Días Alternados			
	VO _{2pico} (L·min ⁻¹)	2.92±0.36	3.30±0.34*	3.39±0.34*
	VO _{2pico} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	36.2±6.5	40.1±6.3*	42.4±6.6*§
VO _{2pico} (ml·kg ⁻⁷⁵ ·min ⁻¹)	108.4±17.0	122.1±17.3*	126.5±16.8*	
Potencia pico (W)	233±30	264±25*	279±28*§	
1MR (kg)	142±24	156±21*	159±22*§	
Mujeres	Resistencia-Fuerza			
	VO _{2pico} (L·min ⁻¹)	2.07±0.36	2.23±0.34*	2.31±0.27*†
	VO _{2pico} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	30.7±3.8	33.0±4.3*	34.0±4.0*
	VO _{2pico} (ml·kg ⁻⁷⁵ ·min ⁻¹)	87.7±10.7	94.0±11.1*	97.5±9.7*†
	Potencia pico (W)	170±26	189±25*	204±23*§
	1MR (kg)	102±22	109±23*†	115±23*§
	Fuerza-Resistencia			
	VO _{2pico} (L·min ⁻¹)	2.12±0.32	2.29±0.29*	2.35±0.28*†
	VO _{2pico} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	33.8±4.7	36.1±5.3	36.9±4.8*
	VO _{2pico} (ml·kg ⁻⁷⁵ ·min ⁻¹)	94.9±12.4†	101.7±12.9*	104.1±11.7*†
	Potencia pico (W)	182±27	192±25	210±26*§
	1MR (kg)	100±18	109±18*	116±17*§
	Días Alternados			
	VO _{2pico} (L·min ⁻¹)	1.86±0.25	2.14±0.22*	2.26±0.23*
	VO _{2pico} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	27.9±5.8	32.1±4.8*	34.7±5.8*§
VO _{2pico} (ml·kg ⁻⁷⁵ ·min ⁻¹)	79.6±13.5†	91.6±11.9*	98.5±13.8*§	
Potencia pico (W)	155±25	179±20*	188±29*	
1MR (kg)	88±12	103±14*	106±14*§	

* ≤0.05 comparado al valor correspondiente de la semana 0

§ p≤0.05 comparado al valor correspondiente de la semana 12

† p≤0.05 valor a la semana 0 y cambio a la semana 12 o 24 comparado a DA

tendencia estadística p≤0.06

Fitness cardiorespiratorio

El consumo de oxígeno pico (VO_{2pico}) y la potencia pico en watts se presentan en la Tabla 2. El VO_{2pico} escalonado a la masa corporal a la potencia de 0.75 aumentó en todos los grupos después del entrenamiento. Comparado a la línea de base, las mejoras en el VO_{2pico} escalonado en hombres y mujeres en la semana 24 fueron estadísticamente más grandes en DA (18±9% y 25±11%) comparado a RF (7±9% y 12±12%, p = 0.002 y 0.009, respectivamente) y FR (7±9% y 10±8%, p = 0.005 y 0.008, respectivamente). No se observaron diferencias estadísticas entre los grupos entre RF y FR en hombres y mujeres.

Se presentan valores absolutos del consumo de oxígeno sub-máximo en la Tabla 3. Las reducciones estadísticas en el consumo de oxígeno sub-máximo escalonado a la masa corporal a la potencia de 0.75 (Fig. 1) a la semana 24 sólo se encontró en los hombres en 150 y 175 W (-6±5%, p = 0.002 y -4±4%, p = 0.010, respectivamente) pero no en las mujeres. Ninguna interacción estadística de grupo fue observada para el consumo de oxígeno sub-máximo en los hombres. Sin embargo, en las mujeres se observaron diferencias estadísticas entre los grupos a la semana 24 entre RF y DA (75W -2±6% vs +3±6%, p = 0.027; 125 W -4±5% vs +2±5%, p = 0.010).

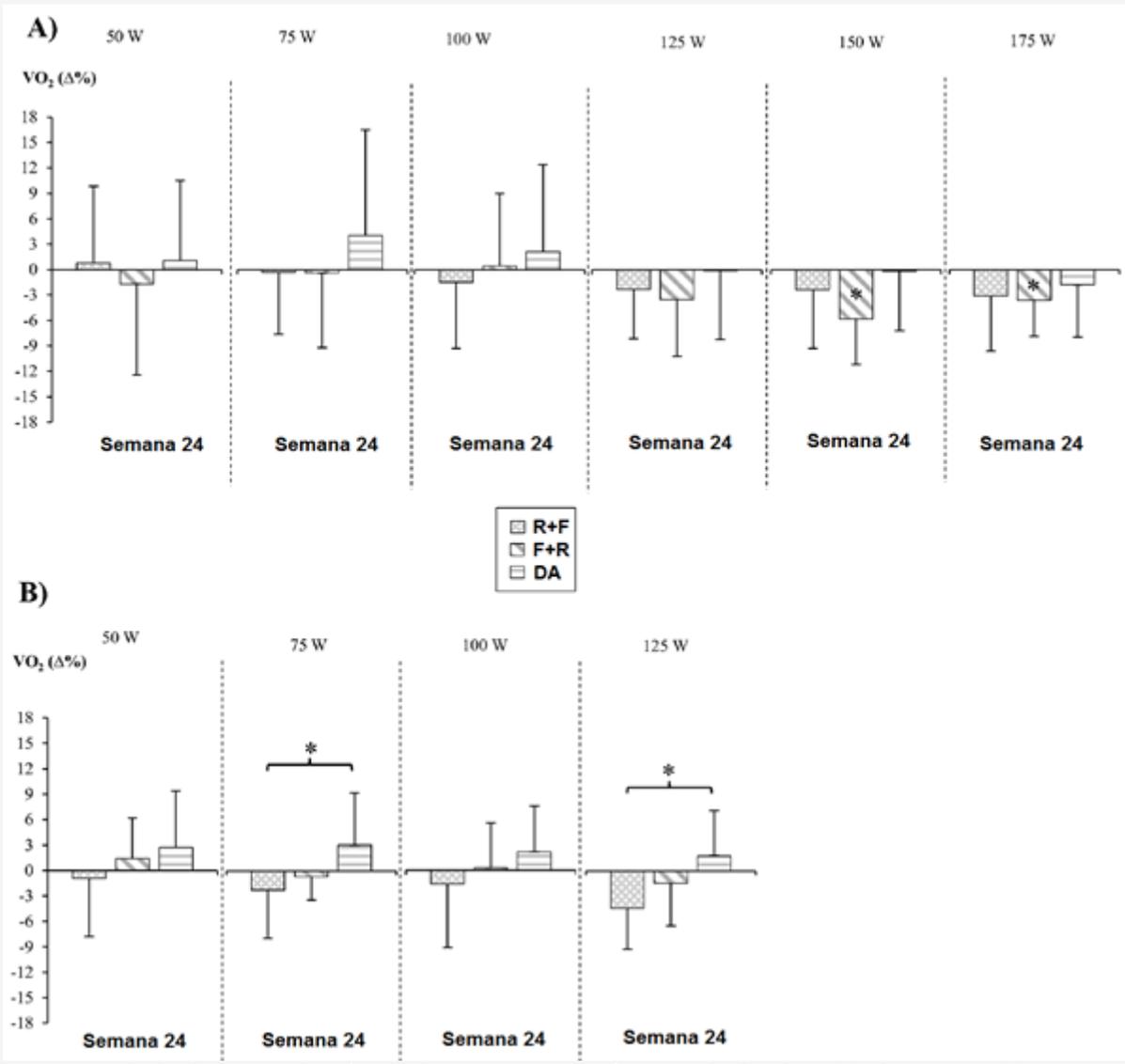


Fig 1. El consumo de oxígeno a las potencias sub-máximas en los hombres (A) y las mujeres (B).
 * $p < 0.05$; dentro de la barra comparada al valor correspondiente a la semana 0, fuera de la barra como está indicado.

Tabla 3. El consumo de oxígeno sub-máximo (VO₂) durante el test de pedaleo incremental realizado antes de (0), a 12 semanas y a 24 semanas después de RF, FR y DA.

		VO ₂ (L·min ⁻¹)						
		50W	75W	100W	125W	150W	175W	
Hombres	RF	0	1.05±0.07	1.29±0.07	1.52±0.08	1.77±0.07	2.01±0.08	2.31±0.09
		12	1.06±0.10	1.27±0.10†•	1.49±0.09	1.72±0.09	1.99±0.10	2.26±0.10
		24	1.05±0.12	1.28±0.10	1.49±0.09	1.72±0.11	1.95±0.13	2.23±0.12
	FR	0	1.03±0.10	1.25±0.08	1.47±0.08	1.76±0.08	2.06±0.08	2.33±0.09
		12	1.08±0.08	1.30±0.07	1.52±0.07	1.76±0.06	2.02±0.06	2.32±0.07
		24	1.01±0.07	1.25±0.08	1.48±0.09	1.70±0.09	1.95±0.09*	2.26±0.07#
	DA	0	1.01±0.06	1.20±0.09	1.45±0.09	1.71±0.10	1.97±0.12	2.25±0.12
		12	1.04±0.09	1.25±0.07	1.46±0.05	1.71±0.07	1.96±0.06	2.21±0.06
		24	1.00±0.06	1.23±0.07	1.46±0.08	1.68±0.09	1.94±0.06	2.18±0.07*
Mujeres	RF	0	0.93±0.08	1.13±0.08	1.36±0.05	1.63±0.07		
		12	0.91±0.08	1.13±0.10	1.34±0.08	1.58±0.12•		
		24	0.92±0.09	1.12±0.10	1.35±0.09	1.57±0.10		
	FR	0	0.91±0.07	1.13±0.08	1.36±0.09	1.61±0.10		
		12	0.96±0.08	1.17±0.09	1.41±0.10†	1.65±0.11†		
		24	0.93±0.07	1.13±0.09	1.37±0.08	1.60±0.11		
	DA	0	0.91±0.06	1.12±0.06	1.35±0.06	1.60±0.06		
		12	0.92±0.06	1.11±0.05	1.32±0.05	1.56±0.06		
		24	0.92±0.07	1.13±0.05	1.35±0.05	1.59±0.06		

* $p \leq 0.05$ comparado a los valores correspondientes de la semana 0

tendencia estadística $p \leq 0.07$ comparado a los valores correspondientes de la semana 0

† $p \leq 0.05$ cambio desde la semana 0 comparado a DA

• $p \leq 0.05$ cambio desde la semana 0 comparado a FR

Se presenta la eficiencia motriz en la Tabla 4. Se observaron aumentos a la semana 24 en los hombres en RF a 125W, 150W y 175W (4±6% a 5+6%, $p = 0.069$ a 0.017), en FR a 150W y 175W (3±3 a 4±6%, $p = 0.019$ a 0.003) y en DA a 175W (4±6%, $p = 0.020$) solamente. En las mujeres, un aumento estadístico se observó sólo a la semana 24 en RF a 125W (5±6%, $p = 0.017$). Ninguna interacción estadística de grupo se observó para la eficiencia motriz en los hombres. Sólo se observaron diferencias estadísticas entre los grupos en las mujeres a la semana 12 entre RF y FR (50W, 75W y 125W, +2±5% a +3±6% vs -3±7% a -5±8%, $p = 0.011$ a 0.050) y entre FR y DA (75W, 100W y 125W, -2±7% a -3±7% vs +2±5% a 3±4%, $p = 0.033$ a 0.054).

La frecuencia cardíaca sub-máxima a través de todas las potencias sub-máximas estadísticamente disminuyeron en los hombres después del entrenamiento en RF (-5±13% a -8±5%, $p = 0.018$ a $p < 0.001$), FR (-6±12% a -8±7%, $p = 0.042$ a $p = 0.001$) y DA (-8±8% a 11±7%, $p < 0.001$). En las mujeres, la frecuencia cardíaca estadísticamente disminuyó después del entrenamiento solamente en RF (-5±8% a -8±10%, $p = 0.066$ a 0.001) y DA (-6±10% a -8±8% $p = 0.063$ a 0.001). Sin embargo, ninguna interacción estadística de grupo se observó en hombres o mujeres.

Las concentraciones del lactato sanguíneo sub-máximas fueron inferiores para los hombres y las mujeres en todos los tres grupos de entrenamiento (Tabla 5) después del entrenamiento. Ninguna interacción de grupo se observó en hombres o mujeres.

Tabla 4. La eficiencia motriz durante el test de pedaleo incremental realizado antes de (0), a 12 semanas y a 24 semanas después de RF, FR y DA.

		Eficiencia Motriz (%)					
		50W	75W	100W	125W	150W	175W
Hombres	RF						
	0	14.1±1.0	16.9±1.0	18.9±0.9	20.2±0.7	21.1±0.9	21.3±0.9
	12	14.0±1.2	17.3±1.4	19.4±1.1	20.9±1.1*	21.6±1.0	22.0±0.9
	24	14.1±1.5	17.2±1.2	19.4±1.1	20.9±1.3#	21.9±1.4#	22.2±1.1*
	FR						
	0	14.2±1.2	17.3±1.0	19.4±0.9	20.1±0.9	20.5±0.8	21.0±0.9
	12	13.6±1.1	16.8±0.9	19.0±0.8	20.3±0.6	21.0±0.6	21.2±0.5
	24	14.5±1.1	17.5±1.1	19.4±1.2	20.9±1.2	21.8±1.1*	21.8±0.6*
	DA						
0	14.5±0.9	18.1±1.4	19.7±1.3	20.6±1.3	21.3±1.5	21.6±1.4	
12	14.1±1.3	17.3±1.0	19.6±0.8	20.7±1.0	21.6±0.7	22.2±0.7	
24	14.6±1.0	17.8±1.2	19.7±1.2	21.2±1.3	21.9±0.7	22.5±0.8*	
Mujeres	RF						
	0	15.9±1.3	19.0±1.2	20.7±0.7	21.3±0.8		
	12	16.3±1.5*	19.3±1.6*	21.2±1.1	22.2±1.3**		
	24	16.0±1.9	19.4±1.8	21.1±1.5	22.3±1.4*		
	FR						
	0	16.2±1.4	19.3±1.4	21.0±1.5	21.7±1.5		
	12	15.4±1.3	18.6±1.4†	20.3±1.2†	21.3±1.2†		
	24	15.9±1.3	19.3±1.5	20.9±1.2	22.1±1.4		
	DA						
0	16.1±1.0	19.2±1.0	20.8±0.9	21.6±0.8			
12	16.0±1.0	19.5±0.9	21.3±0.9	22.3±0.9*			
24	16.0±1.1	19.1±0.8	21.0±0.7	22.0±0.8			

* $p \leq 0.05$ comparado a los valores correspondientes de la semana 0

tendencia estadística $p \leq 0.07$ comparado a los valores correspondientes de la semana 0

† $p \leq 0.05$ cambio desde la semana 0 comparado a DA

• $p \leq 0.05$ cambio desde la semana 0 comparado a FR

Tabla 5. Concentraciones del lactato sanguíneo a intensidades sub-máximas durante el test de pedaleo incremental realizado antes de (0), a las 12 semanas y a las 24 semanas después de RF, FR y DA.

		Lactato Sanguíneo (mmol·L ⁻¹)					
		50W	75W	100W	125W	150W	175W
Hombres	RF						
	0	1.3±0.5	1.3±0.5	1.6±0.5	1.9±0.8	2.7±1.1	3.4±1.5
	12	1.2±0.3*	1.3±0.3	1.4±0.4	1.8±0.5	2.3±0.7	2.9±1.1
	24	1.2±0.5	1.1±0.5	1.3±0.5#	1.6±0.7	2.0±1.0*	2.8±1.4†
	FR						
	0	1.8±0.5	1.8±0.5	2.2±0.5	3.0±1.0	4.1±2.0	4.7±1.7
	12	1.3±0.4*	1.5±0.4	1.8±0.4#	2.3±0.7	3.1±1.1	4.0±1.7
	24	1.3±0.4*	1.4±0.4*	1.6±0.3*	2.0±0.4*	2.6±0.7*	3.3±1.1*
	DA						
0	1.1±0.3	1.5±0.5	2.1±0.9	2.9±1.4	3.7±1.0	5.1±1.3	
12	1.2±0.3	1.3±0.4*	1.7±0.6*	2.2±0.8*	2.8±0.7*	3.8±0.9*	
24	1.3±0.5	1.4±0.5	1.7±0.7*	2.1±0.9*	2.6±0.8*	3.4±1.0*	
Mujeres	RF						
	0	1.5±0.4	2.1±0.8	3.1±1.2	4.6±1.8		
	12	1.3±0.2	1.7±0.4	2.3±0.7	3.5±1.3		
	24	1.3±0.2	1.7±0.4	2.3±0.7*	3.5±1.3*		
	FR						
	0	1.3±0.4	1.8±0.5	2.6±1.0	4.0±1.7		
	12	1.4±0.5††	1.8±0.9	2.3±1.1	3.5±1.7*		
	24	1.1±0.3	1.4±0.5*	1.9±0.9*	3.0±1.4*		
	DA						
0	1.1±0.4	1.9±0.8	3.1±1.1	4.7±1.5			
12	1.1±0.3	1.5±0.4#	2.4±0.8*	3.5±1.0*			
24	1.4±0.5	1.7±0.5	2.4±0.7*	3.4±1.1*			

* $p \leq 0.05$ comparado a los valores correspondientes de la semana 0
tendencia estadística $p \leq 0.06$ comparado a los valores correspondientes de la semana 0
† $p \leq 0.05$ cambio desde la semana 0 comparado a DA
• $p \leq 0.05$ cambio desde la semana 0 comparado a FR

Frecuencia cardíaca y potencia en OBLA

La frecuencia cardíaca no cambió estadísticamente en OBLA en ambos grupos de entrenamiento en hombres o mujeres. Ningún cambio significativo en la frecuencia cardíaca a la concentración del lactato sanguíneo de 4 mmol·L⁻¹ se observó en cualquiera de los grupos de entrenamiento. En los hombres, la potencia en OBLA estadísticamente aumentó después del entrenamiento en FR (25±21%, $p < 0.001$) y en DA (21±15%, $p < 0.001$), pero no en RF (10±15%, $p > 0.05$). Similarmente, en las mujeres, la potencia en OBLA después del entrenamiento aumentó en FR (13±11%, $p = 0.001$) y en DA (18±16%, $p < 0.001$) pero no en RF (15±19%, $p > 0.05$). Sin embargo, ninguna interacción estadística de grupo fue observada.

El rendimiento de fuerza

La 1MR dinámica del press de piernas se presenta en la Tabla 2. La fuerza máxima mejoró en todos los grupos después del entrenamiento. En los hombres, ninguna interacción estadística de grupo se observó. Sin embargo, en las mujeres un mayor aumento en la fuerza de 1MR se observó en la semana 12 en DA comparado a RF (17±7% vs 7±10%, $p = 0.015$).

DISCUSIÓN

Los resultados principales de este estudio fueron que: i) el VO₂pico aumentó estadísticamente a una magnitud más grande cuando se realizó el entrenamiento de la fuerza y de la resistencia en días alternados, comparado con el entrenamiento combinado de la resistencia y de la fuerza dentro de la misma sesión de entrenamiento (FR y RF) en hombres y mujeres, y ii) las adaptaciones en el consumo de oxígeno sub-máximo no difirieron estadísticamente entre los tres modos de entrenamiento en los hombres, mientras que en las mujeres el VO₂submáx disminuyó a una magnitud más grande en RF comparado a DA.

Los aumentos observados en el VO₂pico en DA (18% y 25%) fueron dos veces de grandes como los observados en RF (7% y 12%) y FR (7% y 10%) en hombres y mujeres. Estos resultados difieren de un estudio previo de Sale y cols. [10], quienes no observaron diferencias en las adaptaciones cardiorespiratorias entre el entrenamiento combinado realizado dentro de la misma sesión o en los días alternados. La diferencia entre estos dos estudios, sin embargo, puede atribuirse al entrenamiento específico realizado. Aunque la intensidad y la duración del entrenamiento de la resistencia presente eran moderadas durante la primera mitad de cada período de entrenamiento, las cargas usadas durante el entrenamiento de la fuerza eran de pesadas a máximas a lo largo de la mayoría de las semanas de entrenamiento. En contraste, el entrenamiento de la fuerza en el estudio de Sale y cols. [10] se realizó usando cargas bajas y un gran número de 15-20 repeticiones, produciendo una carga de estilo de resistencia. De hecho, nuestro hallazgo de aumentos más grandes en el VO₂pico en DA comparado a RF y FR, está en la línea con los datos previos de Robineau y cols. [25] y posiblemente indica que la presencia del entrenamiento de la fuerza pesado realizado en proximidad muy cercana a la carga de resistencia en la misma sesión de entrenamiento combinado, podrían llevar a adaptaciones compuestas en el consumo máximo de oxígeno. Sin embargo, los mecanismos exactos de este hallazgo no pueden ser dilucidados con el presente diseño del estudio. Es posible que los cambios observados atenuados en el VO₂pico en RF y FR pueden deberse a un estado de sobreentrenamiento/sobrelimitación, inducido por el volumen relativamente alto de cada sesión de entrenamiento combinado (es decir, una duración total de 60-100 min por sesión de entrenamiento) para sujetos previamente desentrenados. Por otro lado, los aumentos más grandes en el VO₂pico en el grupo DA pueden atribuirse también a una frecuencia de entrenamiento semanal más grande (es decir, 4-6 sesiones comparado a 2-3 sesiones en RF y FR) y, así, estímulos de entrenamiento más frecuentes, a pesar de un volumen de entrenamiento total emparejado. Independientemente de la causa para los resultados presentes, sin embargo, es importante notar que los niveles del VO₂pico en la línea de base en los hombres y las mujeres eran estadísticamente inferiores en DA comparado a RF y FR cuando fueron normalizados a la masa corporal. Aunque los sujetos fueron emparejados originalmente por el rendimiento físico, la diferencia estadística entre los grupos en los valores iniciales ocurrió debido a los abandonos. Mientras nuestro método estadístico dio cuenta de esta diferencia inicial, la ventana fisiológica de las adaptaciones fue ciertamente más grande en el grupo de DA y, de esta manera, una magnitud más grande de las adaptaciones puede esperarse. Sin embargo, nosotros estamos seguros que esto no puede responder totalmente las grandes diferencias entre los grupos después de 24 semanas de entrenamiento.

Es interesante observar que, aunque el $VO_{2\text{pico}}$ mejoró a una magnitud más grande en el grupo DA, en las mujeres las disminuciones más grandes en el consumo de oxígeno a cargas sub-máximas ocurrieron en el grupo RF (Tabla 3). Es más, mientras las reducciones en el $VO_{2\text{submáx}}$ fueron algo bajas en RF comparado con FR, una diferencia estadística entre los grupos sólo se observó entre RF y DA. Mientras típicamente puede esperarse que el entrenamiento de resistencia prolongado conlleve a aumentos en el consumo máximo de oxígeno y en la economía del ejercicio, previamente una relación inversa se ha observado en ciclistas de élite [26]. Entre varias hipótesis, se ha indicado que los sujetos con un $VO_{2\text{máx}}$ superior también tenderían a tener una oxidación de lípidos superior en cualquier nivel de trabajo sub-máximo. De esta manera, como la oxidación de lípidos libera menos energía por litro de oxígeno consumido, más oxígeno se podría requerir para sostener una potencia determinada y, así, aumentar la economía de ejercicio [27]. En suma, Sale y cols. [10] han demostrado que la síntesis del citrato era mayor cuando el entrenamiento de la resistencia y de la fuerza eran combinados dentro de la misma sesión comparado a los días alternados. Mientras que es razonable asumir que la síntesis del citrato mejorada puede llevar a una economía del ejercicio mayor, Hunter y cols. [28] han demostrado una relación inversa entre la capacidad oxidativa y la economía de la marcha en mujeres premenopáusicas. Así, los mecanismos responsables de la diferencia observada en el consumo de oxígeno sub-máximo entre el entrenamiento RF y DA en las mujeres en el presente estudio requieren de una investigación más extensa. Es más, al interpretar los resultados del presente estudio, debe reconocerse que la duración de la medición para el consumo de oxígeno sub-máximo a cada potencia era relativamente corta, lo que puede tener un efecto a su vez en los valores de O_2 obtenidos. Sin embargo, igualmente se han demostrado incrementos relativamente cortos previamente para proveer datos válidos de parámetros cardiorespiratorios sub-máximos [19,29]. A pesar de ser conscientes de que se desean duraciones típicamente más largas de una carga constante para la determinación de datos fisiológicos sub-máximos (es decir, la economía del ejercicio) y duraciones más cortas para la valoración del $VO_{2\text{pico}}$ (es decir, un test de rampa), el test incremental presente fue escogido en un intento de probar indicadores del rendimiento máximos y sub-máximos dentro del mismo protocolo.

En contraste a nuestra hipótesis, ninguna diferencia estadística fue observada en los cambios del consumo de oxígeno pico y sub-máximo entre los grupos RF y FR en los hombres y mujeres después del entrenamiento. Este hallazgo fue algo sorprendente ya que estudios transversales previos han demostrado que la economía de movimiento puede reducirse durante varias horas después del ejercicio de fuerza [12,14,15]. Posiblemente como resultado, Chtara y cols. [30] demostraron que en el rendimiento de resistencia y el fitness cardiorespiratorio de hombres jóvenes aumentaban a una magnitud más grande después del entrenamiento RF comparado a FR. Sin embargo, Drummond y cols. [31] indicaron que la carrera de resistencia realizada inmediatamente después de una sesión de entrenamiento de la fuerza puede actuar realmente como estrategia de recuperación activa después de una carga de fuerza mejorando la remoción de lactato [32]. Así, realizando el ejercicio de fuerza antes del de resistencia en última instancia no puede llegar a poner en peligro a la función cardiorespiratoria a corto o largo plazo. Es más, debe reconocerse que incluso una magnitud grande del estrés metabólico inducido por el ejercicio (por ejemplo, reflejado en las respuestas del EPOC más grandes) puede inducir aumentos en el fitness cardiorespiratorio (es decir, en el consumo de oxígeno máximo y sub-máximo), si una recuperación suficiente es provista. Como la frecuencia de entrenamiento de 2-3 por semana de las sesiones combinadas en los grupos de FR y de RF era relativamente bajo, nuestro programa de entrenamiento permitió al menos 48h de recuperación entre las sesiones subsecuentes, y así puede haber sido suficiente para que adaptaciones positivas tengan lugar independientemente del orden del ejercicio. Por otra parte, debe notarse que el programa de entrenamiento del presente estudio utilizó un aumento progresivo en el volumen e intensidad del entrenamiento de la resistencia y de la fuerza. Mientras todos los grupos de entrenamiento mejoraron la capacidad aeróbica y la fuerza muscular en un grado esperable, es posible que el estímulo del entrenamiento semanal no pueda haber sido lo suficiente para que las diferencias específicas de grupo ocurran. En suma, debe notarse que el protocolo del entrenamiento de la fuerza presente para el tren inferior que consistió en un protocolo de press de piernas dinámico, extensión y flexión de rodillas, los cuales son similares al pedaleo de resistencia prolongada en términos de los músculos activados y tiempo bajo tensión [33] y, así, el entrenamiento de la resistencia y de la fuerza en la misma sesión combinada, los grupos pudieron haber tenido un efecto acumulativo en lugar de efectos agudos adversos.

Es interesante observar que, aunque una diferencia estadística entre los grupos en el $VO_{2\text{submáx}}$ en las mujeres fue observada, no se observó ninguna reducción estadística sistemática en el consumo de oxígeno sub-máximo estadísticamente en ambos grupos de entrenamiento en hombres y mujeres, pero la eficiencia motriz aumentó en todos los grupos de entrenamiento en los hombres. Típicamente el costo metabólico de pedalear a cargas sub-máximas disminuye cuando la capacidad aeróbica es aumentada por el entrenamiento prolongado. En suma, el entrenamiento de la fuerza se ha demostrado que induce adaptaciones positivas en la economía de pedaleo en hombres previamente desentrenados [34]. Estas adaptaciones inducidas por el entrenamiento de la fuerza se han atribuido a adaptaciones metabólicas como mayor contenido de fosfocreatina, menor lactato y mayor contenido de glucógeno durante el ejercicio [35], mayor pico de tensión muscular [36], mayor corte transversal del tendón [37] o fatiga muscular retrasada [38]. Es más, Cadore y cols. [39] han demostrado que el entrenamiento de la fuerza puede mejorar la economía neuromuscular reflejada por menor EMG a diferentes potencias durante una cicloergometría en sujetos ancianos. Mientras tal medición estaba más allá del alcance del presente estudio, todos los grupos de entrenamiento estadísticamente mejoraron el rendimiento de fuerza de 1MR después de 24 semanas de entrenamiento, pero esto no se reflejó en el $VO_{2\text{submáx}}$ en cualquiera de los grupos de

entrenamiento y en la eficiencia motriz en las mujeres. Sin embargo, las concentraciones del lactato sanguíneo disminuyeron estadísticamente en la mayor parte de las potencias en hombres y mujeres, indicando una adaptación de entrenamiento positiva.

Es interesante observar que, en contraste con las adaptaciones beneficiosas en el consumo de oxígeno sub-máximo en RF en las mujeres, este hallazgo no se observó en los hombres. Aunque no estáticamente diferente, en los hombres la magnitud de la mejora de la carga en OBLA en el grupo RF fue sólo la mitad de grande ($10\pm 15\%$) como la observada en FR ($25\pm 21\%$) y en DA ($21\pm 15\%$). Estudios previos han demostrado que las demandas de oxígeno después de sesiones de entrenamiento combinado son mayores cuando el ejercicio de resistencia precedió las cargas de fuerza [31,40]. Sin embargo, típicamente esto ha sido considerado como una respuesta positiva del ejercicio por el sostenimiento de la adenosina trifosfato y la resíntesis del fosfato de creatina, el reabastecimiento del glucógeno y los depósitos de oxígeno y remoción del lactato [41]. Nuestros resultados de desarrollo compuesto de la carga en el umbral metabólico después del entrenamiento de RF en los hombres, recalca la necesidad para una investigación más extensa sobre cuáles pueden ser las posibles causas.

Perspectiva

Este estudio demostró que el modo de entrenamiento de la resistencia y de la fuerza combinado afectó el VO_{2pico} en los hombres, y el VO_{2pico} y el $VO_{2submáx}$ en las mujeres. Nuestros resultados indican que el entrenamiento de la resistencia y de la fuerza realizado en días alternados puede optimizar las adaptaciones en el VO_{2pico} en ambos sexos, posiblemente atribuido a la recuperación prolongada (es decir, al menos 24 hs) entre las sesiones de entrenamiento subsecuentes. Sin embargo, en las mujeres se observaron reducciones más grandes en el $VO_{2submáx}$ después del entrenamiento RF. Por lo tanto, como la mayoría de las actividades de la vida diaria, sólo requieren un fragmento del consumo de oxígeno máximo, en las mujeres la secuencia de ejercicio RF puede ser deseada por sobre un entrenamiento combinado realizado con el orden de ejercicio opuesto o en días alternados, para optimizar el fitness cardiorespiratorio.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Juho Kopra por la ayuda estadística.

INFORMACIÓN PARA CITAR EL ARTÍCULO

Citation: Schumann M, Yli-Peltola K, Abbiss CR, Häkkinen K (2015) Cardiorespiratory Adaptations during Concurrent Aerobic and Strength Training in Men and Women. PLoS ONE 10(9): e0139279. doi:10.1371/journal.pone.0139279

Editor: Massimo Sacchetti, University of Rome Foro Italico, ITALY

Received: June 8, 2015; **Accepted:** September 9, 2015; **Published:** September 29, 2015

Copyright: © 2015 Schumann et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability: All relevant data are within the paper.

Funding: The authors received funding from the following organisations: Finnish Ministry of Education and Culture, <http://www.minedu.fi/OPM/?lang=en>; Polar Electro Oy, <http://www.polar.com/us-en?nogeo>. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish or preparation of the manuscript.

Competing interests: In addition, the authors would like to declare that despite the funding provided by Polar Electro Oy the authors did not have competing financial interests that might have influenced the outcome of the present article. The financial support received does not alter the authors' adherence to the PLOS ONE policies on sharing data and materials.

REFERENCIAS

1. Ortega FB, Silventoinen K, Tynelius P, Rasmussen F (2012). Muscular strength in male adolescents and premature death: cohort study of one million participants. *BMJ*. 2012;345: e7279.
2. Farrell SW, Finley CE, Haskell WL, Grundy SM (2014). Is There a Gradient of Mortality Risk Among Men with Low Cardiorespiratory Fitness? *Med Sci Sports Exerc*. 2014.
3. Blair SN, Kampert JB, Kohl HW 3rd, Barlow CE, Macera CA, Paffenbarger RS Jr, et al. (1996). Influences of cardiorespiratory fitness and other precursors on cardiovascular disease and all-cause mortality in men and women. *JAMA*. 1996;276: 205-210.
4. Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, et al. (2007). Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39: 1423-1434.
5. Hickson RC. (1908). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. . 1980;45: 255-263.
6. Ruseski J, Humphreys B, Hallmann K, Breuer C. (2011). Family structure, time constraints, and sport participation. 2011;8: 57-66.
7. Wilson JM, Marin PJ, Rhea MR, Wilson SMC, Loenneke JP, Anderson JC. (2012). Concurrent Training: a Meta-Analysis Examining Interference of Aerobic and Resistance Exercises. 2012;26: 2293-2307.
8. Nelson AG, Arnall DA, Loy SF, Silvester LJ, Conlee RK. (1990). Consequences of combining strength and endurance training regimens. *Phys Ther*. 1990;70: 287-294.
9. Eklund D, Pulverenti T, Bankers S, Avela J, Newton R, Schumann M, et al. (2014). Neuromuscular Adaptations to Different Modes of Combined Strength and Endurance Training. *Int J Sports Med*. 2014.
10. Sale DG, Jacobs I, MacDougall JD, Garner S. (1990). Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc*. 1990;22: 348-356.
11. Atkinson G, Davison R, Passfield L, Nevill AM. (2003). Could the correlation between maximal oxygen uptake and "Economy" be spurious? *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35: 1242-3.
12. Doma K, Deakin GB. (2014). The acute effects intensity and volume of strength training on running performance. *Eur J Sport Sci*. 2014;14: 107-115.
13. Palmer CD, Sleivert GG. (2001). Running economy is impaired following a single bout of resistance exercise. 2001;4: 447-459.
14. Burt D, Lamb K, Nicholas C, Twist C. (2013). Effects of repeated bouts of squatting exercise on sub-maximal endurance running performance. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113: 285-293.
15. Ratkevicius A, Stasiulis A, Dubininkaitė L, Skurvydas A. (2006). Muscle fatigue increases metabolic costs of ergometer cycling without changing VO₂ slow component. *J Sports Sci Med*. 2006;5: 440-448.
16. Schumann M, Kuusmaa M, Newton RU, Sirparanta AI, Syvaaja H, Häkkinen A, et al. (2014). Fitness and Lean Mass Increases during Combined Training Independent of Loading Order. *Med Sci Sports Exerc*. 2014;46: 1758-1768.
17. Eklund D, Schumann M, Kraemer WJ, Izquierdo M, Taipale RS, Häkkinen K. (2015). Acute endocrine and force responses and long-term adaptations to same-session combined strength and endurance training in women. *J Strength Cond Res*. 2015.
18. Thompson WR, Gordon N, Pescatello LS. (2010). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 8th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2010.
19. Moseley L, Jeukendrup AE. (2001). The reliability of cycling efficiency. 2001;33: 621-627.
20. Kuipers H, Verstappen FTJ, Keizer HA, Geurten P, van Kranenburg G. (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med*. 1985;6: 197-201.
21. Aunola S, Rusko (1986). H. *Aerobic and anaerobic thresholds determined from venous lactate or from ventilation and gas exchange in relation to muscle fiber composition*. *Int J Sports Med*. 1986;7: 161-166.
22. Heck H, Mader A, Hess G, Mucke S, Muller R, Hollmann W. (1985). Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med*. 1985;6: 117-130.
23. Welsman JR, Armstrong N, Nevill AM, Winter EM, Kirby BJ. (1996). Scaling peak VO₂ for differences in body size. / *Gradation de pics de VO₂ en tenant compte des différences de taille corporelle*. 1996;28: 259-265.
24. Bergh U, Sjodin B, Forsberg A, Svedenhag J. (1991). The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. / *Relation entre le poids corporel et la consommation d ' oxygene lors de la course chez des sujets humains*. 1991;23: 205-211.
25. Robineau J, Babault N, Piscione J, Lacombe M, Bigard AX. (2014). The specific training effects of concurrent aerobic and strength exercises depends on recovery duration. *J Strength Cond Res*. 2014.
26. Lucia A, Hoyos J, Perez M, Santalla A, Chicharro JL. (2002). Inverse relationship between VO₂max and economy/efficiency in world-class cyclists. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34: 2079-2084.
27. Pate RR, Macera CA, Bailey SP, Bartoli WP, Powell KE. (1992). Physiological, anthropometric, and training correlates of running economy. *Med Sci Sports Exerc*. 1992;24: 1128-1133.
28. Hunter GR, Bamman MM, Larson-Meyer DE, Joannisse DR, McCarthy JP, Blaudeau TE, et al. (2005). Inverse relationship between exercise economy and oxidative capacity in muscle. *Eur J Appl Physiol*. 2005;94: 558-568.
29. Zhang YY, Johnson MC 2nd, Chow N, Wasserman K. (1991). Effect of exercise testing protocol on parameters of aerobic function. *Med Sci Sports Exerc*. 1991;23: 625-630.
30. Chtara M, Chamari K, Chaouachi M, Chaouachi A, Koubaa D, Feki Y, et al. (2005). Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *Br J Sports Med*. 2005;39: 555-560.
31. Drummond MJ, Vehrs PR, Schaalje GB, Parcell AC. (2005). Aerobic and Resistance Exercise Sequence Affects Excess Postexercise Oxygen Consumption. *Journal of Strength & Conditioning Research (Allen Press Publishing Services Inc)*. 2005;19:

332-337.

32. Bond V, Adams RG, Tearney RJ, Gresham K, Ruff W. (1991). Effects of active and passive recovery on lactate removal and subsequent isokinetic muscle function. *J Sports Med Phys Fitness*. 1991;31: 357-361.
33. Fonda, B., Sarabon, N (2012). Biomechanics of cycling. 2012;19: 187-2010.
34. Loveless DJ, Weber CL, Haseler LJ, Schneider DA. (2005). Maximal leg-strength training improves cycling economy in previously untrained men. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37: 1231-1236.
35. Goreham C, Green HJ, Ball-Burnett M, Ranney D. (1999). High-resistance training and muscle metabolism during prolonged exercise. *Am J Physiol*. 1999;276: E489-96.
36. Marcinik EJ, Potts J, Schlabach G, Will S, Dawson P, Hurley BF. (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1991;23: 739-743.
37. Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. (2012). Strength training affects tendon cross-sectional area and freely chosen cadence differently in noncyclists and well-trained cyclists. *J Strength Cond Res*. 2012;26: 158-166.
38. Barclay CJ. (1996). Mechanical efficiency and fatigue of fast and slow muscles of the mouse. *J Physiol*. 1996;497 (Pt 3): 781-794.
39. Cadore EL, Pinto RS, Pinto SS, Alberton CL, Correa CS, Tartaruga MP, et al. (2011). Effects of strength, endurance, and concurrent training on aerobic power and dynamic neuromuscular economy in elderly men. *J Strength Cond Res*. 2011;25: 758-766.
40. Di Blasio A, Gemello E, Di Iorio A, Di Giacinto G, Celso T, Di Renzo D, et al. (2012). Order effects of concurrent endurance and resistance training on post-exercise response of non-trained women. *J Sports Sci Med*. 2012;11: 393-399.
41. Borsheim E, Bahr R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. 2003;33: 1037-1060.

Cita Original

Schumann M, Yli-Peltola K, Abbiss CR, Häkkinen K (2015) Cardiorespiratory Adaptations during Concurrent Aerobic and Strength Training in Men and Women. *PLoS ONE* 10(9): e0139279