

Article

El Orden del Entrenamiento Concurrente en el Mismo día Tiene Influencia Sobre Algunos Índices de Desarrollo de la Potencia, pero no la Fuerza, Masa Magra, o Fitness Aeróbico en Hombres Sanos, Moderadamente Activos Después de 9 Semanas de Entrenamiento

Matthew J. C. Lee¹, James K. Ballantyne¹, Javier Chagolla¹, William G. Hopkins¹, Jackson J. Fyfe², Stuart M. Phillips³, David J. Bishop^{1,4} y Jonathan D. Bartlett¹

¹Institute for Health and Sport, Victoria University, Melbourne, Australia

²Centre for Sport Research, School of Exercise and Nutrition Sciences, Deakin University, Australia

³Department of Kinesiology, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada, ⁴School of Medicine & Health Sciences, Edith Cowan University, Joondalup, Australia

RESUMEN

Fundamento: La importancia del orden del ejercicio concurrente para mejorar las adaptaciones de la resistencia y la fuerza se mantiene incierta, particularmente cuando las sesiones se realizan separadamente por unas horas. Nosotros investigamos los efectos del entrenamiento concurrente (en órdenes alternados, separados por ~3 horas) sobre las adaptaciones del entrenamiento de la resistencia y la fuerza, comparado a sólo el entrenamiento de la fuerza. **Materiales y métodos:** Veintinueve hombres sanos, moderadamente activos ($\pm$ SD media; edad 24.5 ± 4.7 años; masa corporal 74.9 ± 10.8 kg; altura 179.7 ± 6.5 cm) realizaron entrenamiento sólo de fuerza (EF, $n = 9$), o entrenamiento concurrente en el mismo día mediante el cual se realizó un entrenamiento de intervalos de alta intensidad 3 horas antes (HIIT+EF, $n = 10$) o después del entrenamiento de la fuerza (EF+HIIT, $n = 10$), para 3 días•semana⁻¹, durante 9 semanas. Los cambios inducidos por el entrenamiento en la fuerza de 1MR del press de piernas, rendimiento del salto con contramovimiento (CMJ), la composición corporal, el consumo de oxígeno pico (VO2pico), la potencia aeróbica (Wpico), y el umbral de lactato (WUL), se evaluaron antes, y después de las semanas 5 y 9 de entrenamiento. **Resultados:** Después de 9 semanas, todos los grupos de entrenamiento aumentaron la 1MR del press de piernas (~24-28%) y la masa magra total (~3-4%), sin diferencias claras entre los grupos. Ambos grupos concurrentes produjeron mejoras de pequeñas a moderadas similares en todos los marcadores del fitness aeróbico (VO2pico ~8-9%; Wpico ~16-20%; WUL ~14-15%). El EF mejoró el

desplazamiento del CMJ ($\pm$ SD media, $5.3 \pm 6.3\%$), velocidad ($2.2 \pm 2.7\%$), fuerza (absoluta: $10.1 \pm 10.1\%$), y potencia (absoluta: $9.8 \pm 7.6\%$; relativa: $6.0 \pm 6.6\%$). El HIIT+EF sólo produjo mejoras comparables en la velocidad del CMJ ($2.2 \pm 2.7\%$). Comparado al EF, el EF+HIIT atenuó el desplazamiento del CMJ (diferencia promedio $\pm 90\%$ CI, $-5.1 \pm 4.3\%$), fuerza (absoluta: $-8.2 \pm 7.1\%$) y potencia (absoluta: $-6.0 \pm 4.7\%$). Sólo el EF+HIIT redujo la masa grasa absoluta ($\pm$ SD media, $-11.0 \pm 11.7\%$). Conclusiones: En varones moderadamente activos, el entrenamiento concurrente, a pesar del orden del ejercicio, presenta una estrategia viable para mejorar la fuerza máxima del tren inferior y la masa magra total comparable a un entrenamiento de sólo fuerza, aunque también mejorando índices del fitness aeróbico. Sin embargo, se atenuaron mejoras en el desplazamiento del CMJ, fuerza, y potencia cuando el EF se realizó antes del HIIT, y como tal, el orden del ejercicio puede ser una consideración importante cuando se diseñan programas de entrenamiento en los que la meta es mejorar la potencia del tren inferior.

Palabras Clave: Entrenamiento concurrente, Resistencia, Fuerza, Orden, Sesión

ABSTRACT

Background: The importance of concurrent exercise order for improving endurance and resistance adaptations remains unclear, particularly when sessions are performed a few hours apart. We investigated the effects of concurrent training (in alternate orders, separated by ~ 3 hours) on endurance and resistance training adaptations, compared to resistance-only training. **Materials and methods:** Twenty-nine healthy, moderately-active men (mean $\pm$ SD; age 24.5 ± 4.7 y; body mass 74.9 ± 10.8 kg; height 179.7 ± 6.5 cm) performed either resistance-only training (RT, $n = 9$), or same-day concurrent training whereby high-intensity interval training was performed either 3 hours before (HIIT+RT, $n = 10$) or after resistance training (RT+HIIT, $n = 10$), for 3 d.wk⁻¹ over 9 weeks. Training-induced changes in leg press 1-repetition maximal (1-RM) strength, countermovement jump (CMJ) performance, body composition, peak oxygen uptake (VO₂peak), aerobic power (Wpeak), and lactate threshold (WLT) were assessed before, and after both 5 and 9 weeks of training. **Results:** After 9 weeks, all training groups increased leg press 1-RM (~ 24 - 28%) and total lean mass (~ 3 - 4%), with no clear differences between groups. Both concurrent groups elicited similar small-to-moderate improvements in all markers of aerobic fitness (VO₂peak ~ 8 - 9% ; WLT ~ 16 - 20% ; Wpeak ~ 14 - 15%). RT improved CMJ displacement (mean $\pm$ SD, $5.3 \pm 6.3\%$), velocity ($2.2 \pm 2.7\%$), force (absolute: $10.1 \pm 10.1\%$), and power (absolute: $9.8 \pm 7.6\%$; relative: $6.0 \pm 6.6\%$). HIIT+RT elicited comparable improvements in CMJ velocity only ($2.2 \pm 2.7\%$). Compared to RT, RT+HIIT attenuated CMJ displacement (mean difference $\pm 90\%$ CI, $-5.1 \pm 4.3\%$), force (absolute: $-8.2 \pm 7.1\%$) and power (absolute: $-6.0 \pm 4.7\%$). Only RT+HIIT reduced absolute fat mass (mean $\pm$ SD, $-11.0 \pm 11.7\%$). **Conclusions:** In moderately-active males, concurrent training, regardless of the exercise order, presents a viable strategy to improve lower-body maximal strength and total lean mass comparably to resistance-only training, whilst also improving indices of aerobic fitness. However, improvements in CMJ displacement, force, and power were attenuated when RT was performed before HIIT, and as such, exercise order may be an important consideration when designing training programs in which the goal is to improve lower-body power.

Keywords: Concurrent Training, Endurance, Strength, Order, Session

INTRODUCCIÓN

El rendimiento del ejercicio concurrente de resistencia y de fuerza dentro de un programa de entrenamiento periodizado puede beneficiar al rendimiento deportivo, mejorando el fitness aeróbico, la fuerza muscular, y la potencia simultáneamente [1]. Sin embargo, comparado al entrenamiento de sólo fuerza, los entrenamientos concurrentes pueden comprometer a las adaptaciones de la fuerza, la potencia, y/o la hipertrofia, lo que normalmente es llamado como "efecto de interferencia" [1,2].

No obstante, tal interferencia no se observa de forma consistente, ya que las mejoras comparables en la fuerza muscular e hipertrofia también se han reportado después del entrenamiento concurrente vs entrenamiento sólo de fuerza [3-7]. El potencial para, y el grado de, la interferencia puede relacionarse a variables dependientes escogidas y rendimiento evaluados [8], así como la manipulación de las variables de entrenamiento (por ejemplo, orden del ejercicio, duración de la recuperación entre los modos, el modo del ejercicio, la frecuencia, la intensidad, el volumen [9,10]), y 'las variables de no entrenamiento (por ejemplo, el estado de entrenamiento del participante y la disponibilidad de nutrientes [8,11]).

La fatiga residual y el vaciamiento de sustratos pueden reducir la calidad y el rendimiento de una sesión de entrenamiento subsecuente [12]. Tanto el rendimiento del ejercicio de resistencia [13] como el de fuerza [14-16] pueden empeorarse cuando es precedido en la misma sesión por el modo de ejercicio 'contrastado', comprometiendo el trabajo hecho, y potencialmente el estímulo adaptativo del entrenamiento [17,18]. En apoyo de esto, priorizando el ejercicio de fuerza antes de las sesiones de ejercicio de resistencia se ha demostrado en algunos estudios que induce mayor fuerza del tren inferior, la función muscular, y las adaptaciones neuromusculares [19-21]. Al contrario, realizando el entrenamiento de resistencia antes del entrenamiento de la fuerza puede favorecer mayores mejoras en la capacidad submáxima [22] y máxima aeróbica [23], y el rendimiento de resistencia [23, 24]. De esta manera, las adaptaciones al entrenamiento concurrente en la misma sesión, pueden ser orden-dependientes y pueden ser dictado por el primer modo de ejercicio realizado. Esta conclusión fue ampliamente soportada por dos recientes meta-análisis [25,26], al menos para el desarrollo de la fuerza dinámica máxima. Sin embargo, ningún efecto del orden fue evidente para la capacidad aeróbica, la fuerza estática, la hipertrofia, y el porcentaje de grasa corporal [26]. Es de destacar que una omisión importante de muchos estudios que investigan el efecto del orden de ejercicio concurrente es la ausencia de un grupo de entrenamiento de fuerza solamente [19-22,27-33], lo que impide hacer inferencias sobre si las adaptaciones del entrenamiento de la fuerza fueron comprometidas por la suma del entrenamiento de la resistencia *per se*, a pesar de si un orden del ejercicio indujo adaptaciones superiores.

Los estudios del entrenamiento concurrente a menudo programan sesiones consecutivas (que pueden ser sub-óptimas para las adaptaciones, a pesar del tiempo-eficiencia) [34-36], o en días separados (permitiendo una recuperación más larga entre los modos) [36-39]. Sin embargo, en muchos ambientes deportivos aplicados, las sesiones concurrentes están separadas por unas horas de recuperación [40-43], lo cual puede minimizar el antagonismo potencial entre las respuestas transitorias a nivel molecular que promueven respectivamente las adaptaciones de resistencia y de fuerza [44]. A pesar de que tales prácticas se utilizan en el campo, pocos estudios hasta la fecha han adoptado tales duraciones de recuperación. Nosotros demostramos previamente en hombres recreativamente activos que 8 semanas de un entrenamiento por intervalos de alta intensidad (HIIT) realizado 10 minutos antes de un entrenamiento sólo de fuerza interfirió con las mejoras en la fuerza del tren inferior y masa magra, así como también en la fuerza de salto con contramovimiento y la potencia [35]. Puesto que el HIIT es pertinente a muchas poblaciones atléticas [45], la pregunta sigue siendo si las adaptaciones atenuadas podrían mitigarse alterando el orden del ejercicio y proporcionando una ventana de recuperación que imite mejor los diseños de programas aplicados al entrenamiento deportivo.

Por lo tanto, para abordar los huecos previos en la literatura, comparamos las adaptaciones al entrenamiento concurrente en varios órdenes con el entrenamiento solo de fuerza. Específicamente, investigamos el impacto del entrenamiento concurrente y orden del ejercicio sobre el desarrollo de la fuerza, la masa magra, la potencia, así como el fitness aeróbico, durante nueve semanas en hombres sanos, moderadamente activos. También buscamos emplear un período de recuperación más ecológicamente válido entre las sesiones concurrentes (3 horas), como se utiliza a menudo en campo. Nosotros supusimos que comparado al entrenamiento sólo de fuerza, los entrenamientos concurrentes atenuarían las mejoras en las adaptaciones del entrenamiento de la fuerza; sin embargo, la realización del ejercicio de resistencia o de fuerza primero beneficiaría esa adaptación específica del modo de ejercicio respectivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes

Veintinueve hombres sanos, moderadamente activos, completaron este estudio ($\pm$ SD media; edad 24.5 ± 4.7 años; masa corporal 74.9 ± 10.8 kg; altura 179.7 ± 6.5 cm; Figura 1). Los participantes eran no fumadores, libre de cualquier condición médica preexistente y de lesiones musculoesqueléticas, habitualmente se estaban ejercitando durante ≥ 30 minutos, 2-3 d·sem⁻¹, pero no siguiendo un programa de entrenamiento prescrito. Durante la consulta inicial, se les pidió a los participantes que informaran por sí mismos la intensidad, frecuencia, duración y tipos de actividades físicas habitualmente realizadas durante los 3 meses anteriores.

En base a estos auto-reportes, los participantes se estaban ejercitando $\sim 3.1 \pm 1.3$ sesiones por semana, $\sim 64 \pm 21$ min/sesión. Las actividades típicas alistadas eran "ejercicio de fuerza" (es decir, entrenamiento en un "gym", "pesas"), "ejercicio de resistencia" ("correr", "pedalear", "nadar"), y varios deportes ("running", "fútbol australiano", "fútbol", "baloncesto", "tenis", "vóleybol"). Los participantes leyeron por escrito y con información verbal sobre el estudio antes de dar su consentimiento por escrito. Esta investigación se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki, y todos los procedimientos fueron aceptados por el Comité de Ética de Investigación Humana de la Universidad de Victoria (HRE15-292).

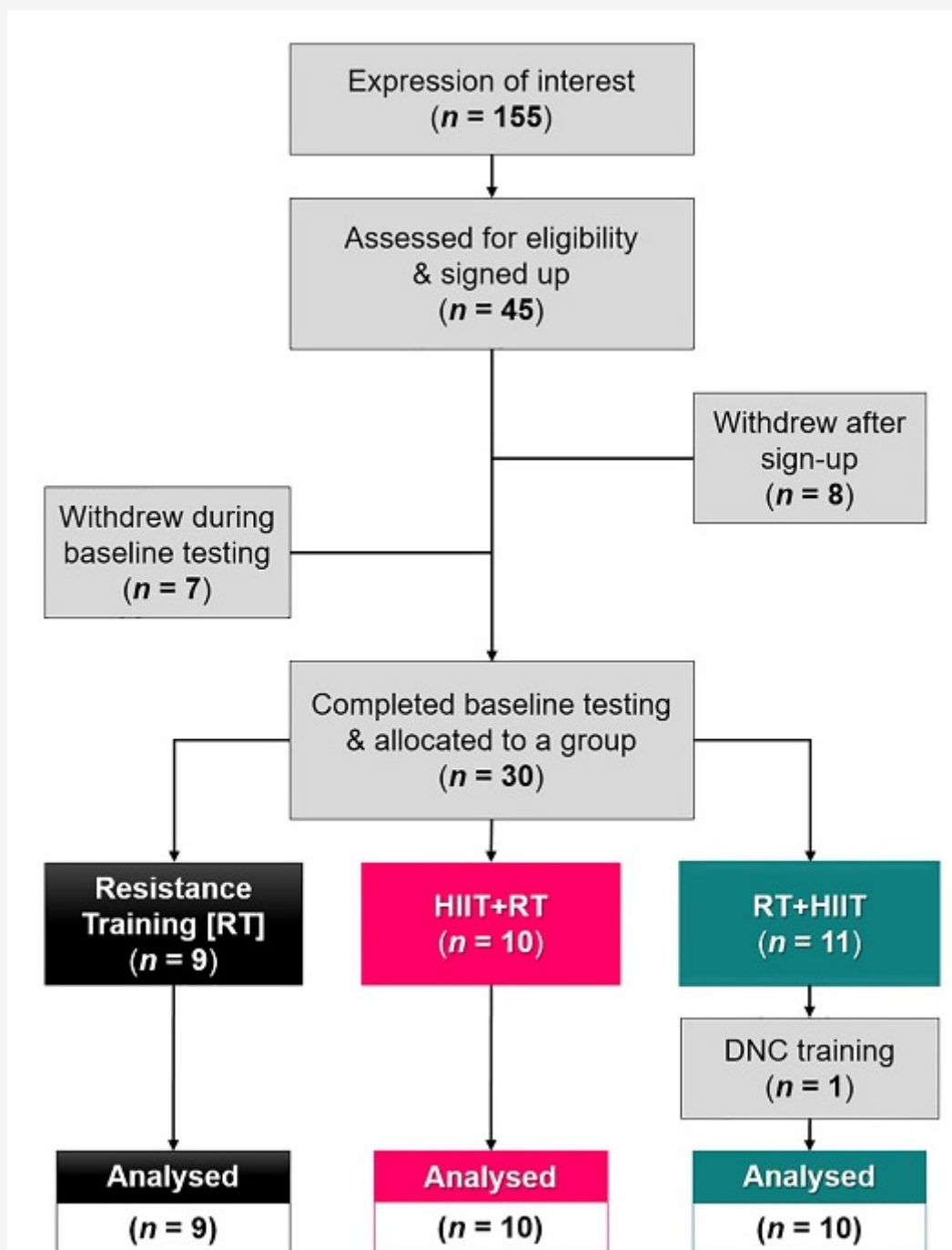


Figura 1. Gráfico de flujo que describe el proceso de reclutamiento que llevó a los tamaños finales de la muestra del grupo de entrenamiento.

De las 155 expresiones iniciales de interés, cuarenta y cinco hombres sanos, moderadamente activos coincidieron con los criterios de inclusión y se ofrecieron a participar en el estudio. Durante la fase de evaluación preliminar, quince participantes se retiraron por las distintas razones (por ejemplo, cambios en la disponibilidad, compromiso de tiempo, y por cuestiones personales). Treinta participantes completaron la evaluación inicial y se asignaron a uno de los tres grupos de entrenamiento. Durante la fase de entrenamiento, un participante se retiró debido a una lesión sufrida fuera del estudio. Por lo tanto, veintinueve participantes completaron el estudio de entrenamiento y fueron incluidos en los análisis finales. *HIIT*, entrenamiento interválico de alta intensidad; *DNC*, no completó.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233134.g001>

Resumen del diseño experimental

Los participantes completaron dos pruebas de familiarización (*FAM1* y *FAM2*) antes de las evaluaciones de la línea de base (*BASE*) de fuerza máxima de 1 máxima repetición del press de piernas (1MR), rendimiento del salto con contramovimiento (CMJ), composición corporal, y el fitness aeróbico; estas valoraciones fueron repetidas después de 5 (*MEDIO*) y 9 (*POST*) semanas de entrenamiento (Figura 2). Los participantes fueron rankeados según los niveles de la línea de base de fuerza, del $VO_{2\text{pico}}$, y de la masa magra total (Tabla 1), y luego fueron asignados en uno de tres grupos de entrenamiento: 1) *HIIT+EF*, entrenamiento por intervalos de alta intensidad antes del entrenamiento de la fuerza ($n = 10$); 2) *EF+HIIT*, resistencia antes del entrenamiento por intervalos de alta intensidad ($n = 10$); o 3) y *EF*, entrenamiento de la fuerza sólo ($n = 9$). Los participantes fueron asignados a través de la minimización para estandarizar la fuerza de 1MR, la masa magra total y el fitness aeróbico de referencia entre los grupos. El análisis del tamaño de efecto reveló algunas diferencias pequeñas entre los grupos al inicio del estudio (es decir, el efecto estandarizado del tamaño 0.2-0.6; Tabla 1); éstos fueron contabilizados antes del análisis. Los participantes se entrenaron 3 d·sem⁻¹ durante 9 semanas; las sesiones concurrentes en el mismo día estaban separadas por 3 horas de recuperación ($\pm$ SD media, *HIIT+RT* 3.1 ± 0.2 h; *RT+HIIT* 3.1 ± 0.5 h).

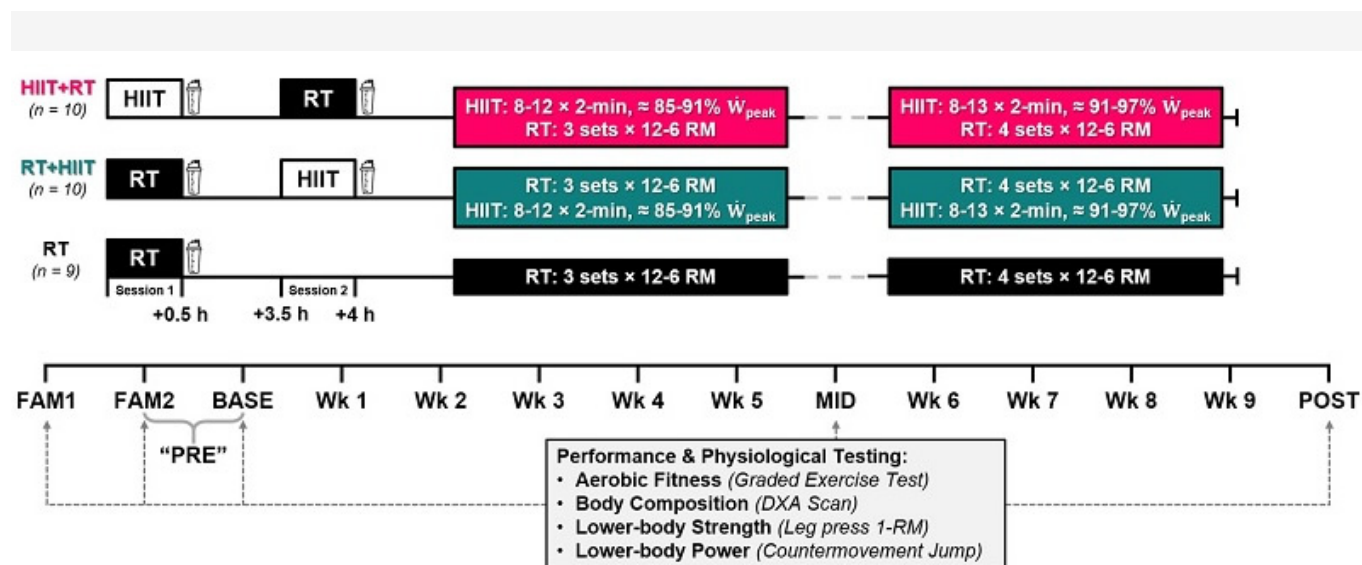
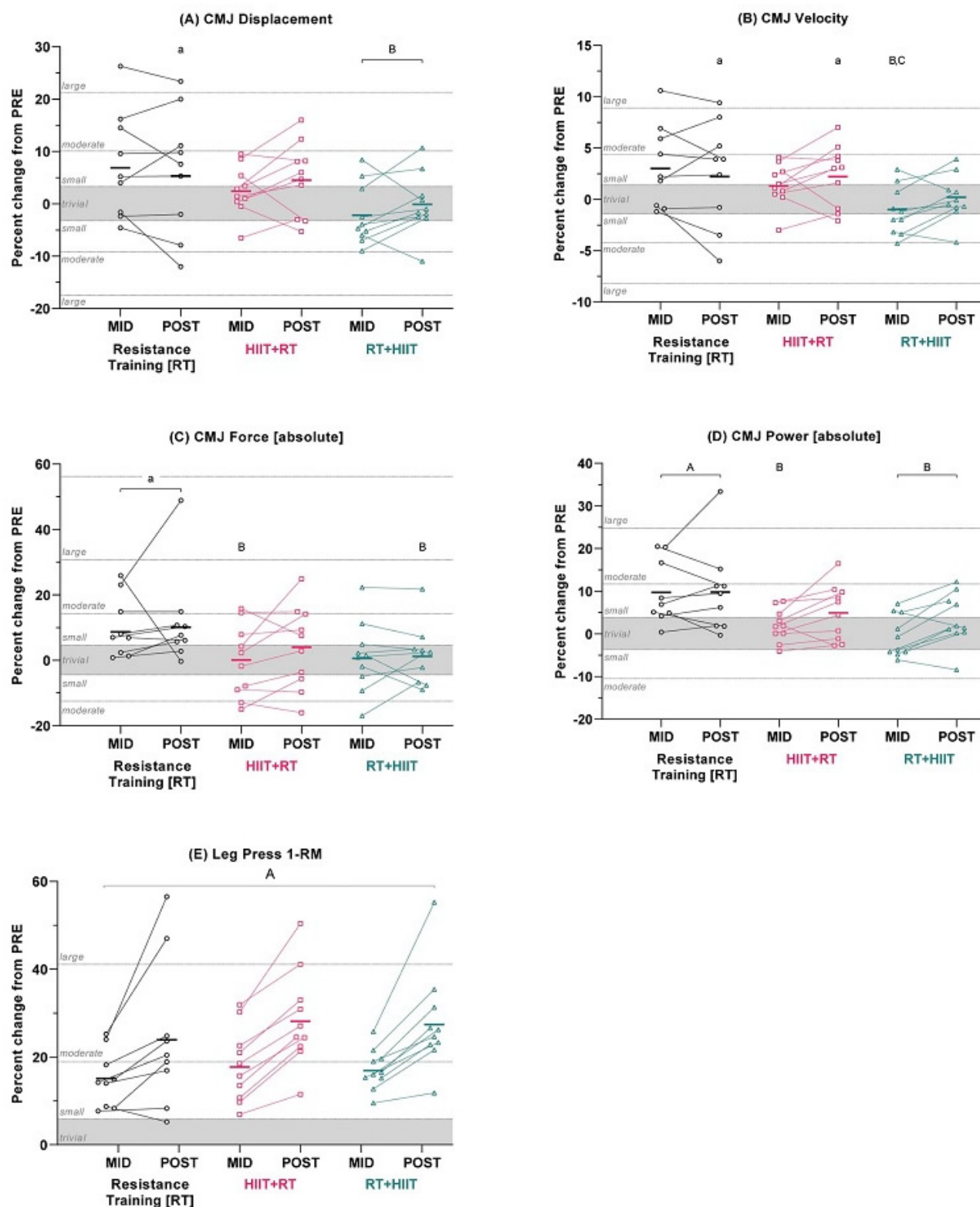


Figura 2. Descripción esquemática del estudio.

HIIT entrenamiento por intervalos de alta intensidad; *EF* entrenamiento de la fuerza sólo; *HIIT+EF* grupo de entrenamiento por intervalos de alta intensidad y del entrenamiento de la fuerza; *EF+HIIT* grupo de entrenamiento de la fuerza y de intervalos de alta intensidad; proteínas de suero (0.25 g·kg⁻¹·d⁻¹); DXA absorciometría de radiografía por energía dual; 1MR una máxima repetición; $VO_{2\text{pico}}$ potencia aeróbica; *FAM* test de familiarización; *BASE* test de línea de base; "PRE" media de las pruebas *FAM2* y *BASE*; *MEDIO* test de mitad de entrenamiento; *POST* test de post-entrenamiento.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233134.g002>

Tabla 1. Características de referencia de cada grupo de entrenamiento.



Los datos son medias $\pm$ SD.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233134.t001>

Familiarización y evaluación de línea de base

Cada visita fue separada por ≥ 24 horas de recuperación. Los tiempos de prueba se estandarizaron para cada participante y

se replicaron en visitas posteriores. Los participantes informaron abstinencia de ejercicio, así como también del consumo de alcohol y cafeína, durante al menos 24 horas antes de todos los procedimientos. Los datos de confiabilidad, determinados mediante las pruebas de FAM2 y BASE, se proporcionan para todas las pruebas de rendimiento en [S1 Appendix](#).

Potencia del tren inferior y fuerza: tests de CMJ y de 1MR del press de piernas

A su llegada, los participantes completaron un calentamiento estandarizado (10 repeticiones submáximas de press de piernas, puentes de glúteos y sentadillas sin peso corporal, respectivamente). El test de CMJ se realizó en una placa de fuerza disponible comercialmente (400S, Fitness Technology, Adelaide, Australia). Después de completar tres saltos submáximos (50%, 75% y 90% de esfuerzo), los participantes realizaron tres saltos máximos, cada uno separado por una recuperación de 1 minuto [35]. El movimiento del brazo se minimizó sosteniendo un palo de madera ligero (<0.5 kg) sobre los hombros. Los datos brutos de la curva fuerza-tiempo (muestreados a 600 Hz) fueron recolectados utilizando el software del Sistema de Medición Balística (Fitness Technology, Adelaide, Australia), luego se exportaron y se analizaron con el Microsoft Excel utilizando una hoja de cálculo específicamente formulada para analizar los datos del CMJ para derivar el desplazamiento pico, velocidad, fuerza y potencia [46]. Para cada variable, se utilizó el promedio de los tres intentos máximos para el análisis.

Durante la misma visita, después de 5 minutos de descanso pasivo, un test de 1MR se realizó en un press de piernas inclinado a 45 ° cargada con discos (Hammer Strength Linear, Schiller Park, IL, EE. UU.). El trineo del press de piernas pesaba 53 kg, que se incorporó al cálculo de la carga total levantada. Los participantes realizaron 3 series de calentamiento (5 × 50%, 3 × 70% y 1 × 90% de 1MR estimado) antes de intentar ≤5 repeticiones individuales, hasta que se determinó un 1MR exitoso. Todas las series estaban separadas por un descanso de 2 minutos. La falla se determinaba cuando la carga no se podía levantar a través del rango requerido, desde la extensión completa de la rodilla hasta la flexión de la rodilla a 90 °; esto era monitoreado por los investigadores y confirmado usando imágenes de video. Se utilizó una tabla de predicción de 1MR [47] y una escala de RPE específica para el ejercicio de fuerza de 10 puntos (Repeticiones en reserva, RIR, [48]) para ayudar a la progresión de la carga entre los intentos.

Fitness aeróbico: prueba de ejercicio gradual (GXT) y turno de verificación (VB)

Durante una visita por separado, el consumo máximo de oxígeno (VO₂pico), el umbral de lactato (WUL) y la potencia aeróbica máxima (Wpico) se determinaron a través de un GXT y un VB con carga de trabajo supramáximo y constante, ambos realizados en un cicloergómetro con freno electromagnético (Lode Excalibur Sport, Groningen, Países Bajos). El protocolo GXT (descrito en [49]) incluyó múltiples etapas de 4 minutos de cargas de trabajo incrementales realizadas a 70±10 RPM. Usando una cánula de calibre 20, se tomó una muestra de sangre antecubital (~1 ml) en reposo y durante los últimos 15 segundos de cada etapa, y se analizó inmediatamente por duplicado para determinar la concentración de lactato (YSI 2300 STAT Plus; YSI Inc., Yellow Springs, OH), EE.UU.). El WUL fue definido por el método *D_{max}* modificado usando Lactate-E [50]. La frecuencia cardíaca (Polar FT1, Kempele, Finlandia) y la tasa del esfuerzo percibido (RPE) [51] se registraron en los últimos 10 segundos de cada etapa. Después de una recuperación de 5 minutos, los participantes realizaron el VB, al 105% de la Wpico derivada del GXT, manteniendo una alta cadencia (90-100 RPM) hasta el agotamiento. Se dio un estímulo verbal constante en todo momento. Tanto el GXT como el VB eran terminados voluntariamente por el participante, o cuando no se podía mantener una cadencia >60 RPM. Los gases expirados se registraban automáticamente cada 15 segundos (Moxus Modular VO₂ System, AEI Technologies, Pittsburgh, PA, EE. UU.); el VO₂ se promedió entre los dos valores consecutivos más altos de 15 segundos. Antes de cada prueba, los analizadores de gases y el medidor de flujo se calibraron contra concentraciones y volúmenes ya conocidos, respectivamente [35].

Composición corporal: Absorsimetría de radiografía de energía dual (DXA)

Los participantes llegaron después de un ayuno nocturno y un vacío en la vejiga, y se abstuvieron de hacer ejercicio 24 horas antes [52, 53]. Los escaneos de DXA se analizaron utilizando las regiones de interés definidas por software (enCORE, versión 16, GE Medical Systems, Madison, WI, EE. UU.). Las regiones medidas incluyeron los brazos y piernas izquierdos y derechos, y el tronco; la cabeza fue excluida, según lo recomendado por Kruger y cols. [54] Se realizaron dos escaneos al inicio del estudio, en días separados, para evaluar la confiabilidad entre los días. ([S1 Appendix](#)).

Entrenamiento

Los programas de entrenamiento fueron modificados de los programas de entrenamiento publicados anteriormente de nuestro laboratorio [35]; todos los detalles se proporcionan en el [S2 Appendix](#). Antes de cada sesión, para controlar la "preparación al entrenamiento", los participantes informaron sus niveles percibidos de fatiga, calidad del sueño, dolor muscular general, estrés y estado de ánimo, de 1 (peor) a 5 (mejor), con incrementos de 0.5 [55] ([S3 Appendix](#)). Después de cada sesión, los participantes calificaron su esfuerzo percibido (sRPE) usando la escala CR1-10 [56] ([S3 Appendix](#)). La carga total interna se calculó para cada sesión multiplicando las sRPE por la duración de la sesión; Este es un método

válido y confiable para monitorear la carga interna del entrenamiento tanto para el entrenamiento aeróbico como el de fuerza [57].

Entrenamiento de la fuerza (EF)

La intensidad y volumen progresaban a partir de 3-4 series de 12-6 repeticiones, con 2 minutos de pausa entre las series. Una serie de precalentamiento (5 reps a ~75% de la carga de entrenamiento ya prescrita) se realizó antes de los primeros 2 ejercicios. Salvo el press de piernas (para el cual, 1MR era directamente medida), todos los otros ejercicios se prescribieron según el número máximo de repeticiones posible para una carga determinada (es decir, n -MR). Las cargas de entrenamiento eran ajustadas según los cambios prescritos en la n -MR. Una tabla de predicción de 1MR [47], y el 'feedback' del participante usando la escala de 10 puntos RIR [48] se usaron como herramientas accesorias para ayudar a la prescripción de la carga (S3 Appendix).

Entrenamiento por intervalos de alta intensidad (HIIT).

En un cicloergómetro de frenado electromagnético (Velotron, Racer-Mate, Seattle, WA, EE. UU.), los participantes completaron un calentamiento estandarizado (5 minutos a 75 W, ~70 RPM), seguido de múltiples intervalos de pedaleo de 2 minutos a 90-100 RPM, cada uno separado por períodos de recuperación de 1 minuto. La sobrecarga progresiva se lograba modificando el volumen (8-13 intervalos) y la intensidad (40-90% de la diferencia entre WUL y Wpico, correspondiente a $\approx$ 85-97% Wpico) en cada sesión. Después del MEDIO GXT, la intensidad para las sesiones posteriores en las semanas 6 a 9 se ajustaba utilizando los datos de WUL y Wpico actualizados.

Control de la dieta y del ejercicio

Los participantes recibieron instrucciones de mantener sus niveles habituales de actividad física durante todo el estudio, lo cual se supervisó regularmente a través de informes diarios propios. Cualquier ejercicio adicional no prescrito se documentaba utilizando un diario de entrenamiento *on line*, en el que se registraban el tipo de sesión, la duración y las sRPE. La ingesta dietética habitual se registró al inicio utilizando diarios alimentarios de 3 días (incluido un día de fin de semana), que se analizaban mediante una aplicación de seguimiento de nutrición *on line* (<https://cronometer.com/>). El análisis del tamaño del efecto reveló diferencias triviales a pequeñas entre los grupos para la ingesta habitual de energía y macronutrientes (que van desde -0.06 a 0.55; Tabla 1). Se proporcionó un preparado de proteína aislada de suero (0.25 g·kgBM⁻¹, BodyScience, QLD, Australia) inmediatamente después de cada sesión; Se ha demostrado que esta dosis es adecuada para maximizar la síntesis de proteínas musculares después del ejercicio [58].

Análisis estadístico

Todas las variables (excluyendo los datos de "preparación para entrenar") se transformaron logarítmicamente antes del análisis [59]. Para mejorar la precisión de la estimación, la media de los tests FAM2 y BASE representaba el valor previo al entrenamiento de cada participante (es decir, PRE; Figura 2). Las puntuaciones de cambio de PRE a MEDIO, y el entrenamiento PRE y POST respectivamente se analizaron utilizando un modelo mixto (Proc Mixed en SAS Studio University Edition, v9.4, SAS Institute, Cary, NC). Los efectos fijados fueron la interacción del grupo de entrenamiento. (HIIT+EF, EF+HIIT, EF) con el tiempo (MEDIO y POST-entrenamiento), más la interacción del grupo con los valores PRE (numérico lineal, para ajustar las diferencias entre grupos de la media combinada de pre-entrenamiento de todos los participantes). Los efectos aleatorios especificaron diferentes variaciones residuales (de las puntuaciones de cambio) en MEDIO y POST en cada grupo, lo que permite correlaciones entre los residuos MEDIO y POST dentro de cada grupo. Las variaciones residuales se transformaron para dar desviaciones estándar de los puntajes de cambio en unidades porcentuales. Los datos de "preparación para el entrenamiento" y la carga de entrenamiento se analizaron con un modelo mixto de confiabilidad; los efectos fijados representaban la sesión y los medios semanales, y los efectos aleatorios explicaban la variabilidad dentro del sujeto dentro y entre las semanas, en cada uno de los tres grupos.

Las magnitudes de todos los efectos se evaluaron utilizando tamaños de efectos estandarizados (ES), donde los umbrales que representan efectos triviales, pequeños y moderados se dieron respectivamente por <0.2, 0.2-0.6 y 0.6-1.2 veces la desviación estándar combinada entre sujetos (SD) [59]. Para los datos de "preparación para entrenar" y carga de entrenamiento, la SD estandarizada se derivó en el modelo mixto de los efectos aleatorios para una sesión típica.

La incertidumbre en las estimaciones de los efectos se presenta como intervalos de compatibilidad del 90% (IC del 90%). Las decisiones sobre las magnitudes que explican la incertidumbre se basaron en pruebas de hipótesis unilaterales [60]. El valor p para rechazar una hipótesis de una magnitud sustancial dada fue el área de distribución t de muestreo del efecto estadístico con valores de esa magnitud [60]. Para las comparaciones de cada grupo concurrente con el grupo de solo resistencia (es decir, efectos clínicamente o prácticamente relevantes que podrían resultar en la implementación de un tratamiento), hipótesis de daño (pH) y beneficio (pB) fueron respectivamente rechazadas si $pH < 0.005$ y $pB < 0.25$ (rechazo fuerte y débil, respectivamente). Para todos los demás efectos (incluidas las comparaciones entre los grupos concurrentes

y los análisis de "preparación para entrenar" y datos de carga de entrenamiento), hipótesis de un negativo sustancial (p -) y efecto positivo (p +) eran rechazados si sus respectivos valores de p eran < 0.05 (rechazo moderado); Si ambas hipótesis eran rechazadas, los efectos eran descritos como claramente triviales. Si solo se rechazó una hipótesis, el valor p para la otra hipótesis (que corresponde a la probabilidad posterior de la magnitud del efecto verdadero en un análisis Bayesiano de referencia con uno previo mínimamente informativo [61, 62]), se informó utilizando la siguiente escala: $p = 0.25-0.75$, "posiblemente"; $p = 0.75-0.95$, "probablemente"; $p = 0.95-0.995$, "muy probablemente"; $p > 0.995$, "más probablemente" [59]. Esta escala también se usó para interpretar los efectos claramente triviales, que vienen dados por el área de la distribución de muestreo en valores triviales. Si ninguna de las hipótesis era rechazada, el efecto se describía como poco claro y el tamaño del efecto se informaba sin un calificador probabilístico. Solo los efectos que son "probables", o mayores, se consideran significativos.

Para tener en cuenta la inflación del error que surge de las inferencias múltiples, los efectos se consideraron decisivos con umbrales más conservadores ($pH < 0.001$; $pB < 0.05$, $p -/+ < 0.005$) y están formados **en negrita** en las tablas y con letras en mayúscula en las cifras. Los valores p precisos (a menos que < 0.001) de las pruebas de hipótesis unilaterales, más los valores p tradicionales de NHST, se proporcionan en [S4 Appendix](#).

RESULTADOS

Rendimiento del salto con contramovimiento

Cinco semanas de entrenamiento de la fuerza mejoraron la fuerza pico ([ES $\pm$ 90% CI] absoluto: 0.37 ± 0.28) y la potencia (absoluto: 0.50 ± 0.21 ; relativo: 0.42 ± 0.25); algunos cambios en cualquiera de los grupos de entrenamiento concurrente o fue trivial, no significativo (es decir, sólo "posiblemente" diferente de PRE), o incierto. Comparado al EF, el EF+HIIT atenuó las mejoras en el desplazamiento máximo (-0.55 ± 0.42), velocidad (-0.57 ± 0.42), y potencia (absoluto: -0.53 ± 0.24 ; relativo: -0.54 ± 0.32). Similarmente, comparado al EF, el HIIT+EF atenuó las mejoras en la fuerza (absoluto: -0.37 ± 0.37) y potencia (absoluto: -0.40 ± 0.22 ; relativo: -0.35 ± 0.29). Hubo también un efecto del orden del ejercicio para la velocidad, a favor del HIIT+EF (0.33 ± 0.23). Después de 9 semanas, el EF mejoró todas las variables del CMJ, con la excepción de la fuerza relativa (desplazamiento: 0.32 ± 0.26 ; velocidad: 0.31 ± 0.25 ; fuerza absoluta: 0.43 ± 0.29 ; potencia absoluta: 0.50 ± 0.26 ; potencia relativa: 0.39 ± 0.28). Similar al EF, el HIIT+EF mejoró sólo la velocidad máxima (0.31 ± 0.23); todos los otros cambios para ambos grupos concurrentes fueron triviales, no significantes, o inciertos. Comparado al EF, el EF+HIIT atenuó las mejoras en el desplazamiento máximo (-0.33 ± 0.29), la fuerza absoluta (-0.38 ± 0.35), y la potencia absoluta (-0.33 ± 0.28) (Figura 3a-3d y Tabla 2). Para la mayoría de las variables, las desviaciones estándar (SD) de los puntajes de cambio PRE a POST dentro de los grupos fueron similares o menores que el SD de los puntajes de cambio del estudio de confiabilidad (es decir, $\times CV$; [S1 Appendix](#)), con la excepción de la potencia absoluta, para la cual hubo evidencia de respuestas individuales en EF y HIIT+EF (EF 7.6%; HIIT+EF 5.8%; vs 4.9%).

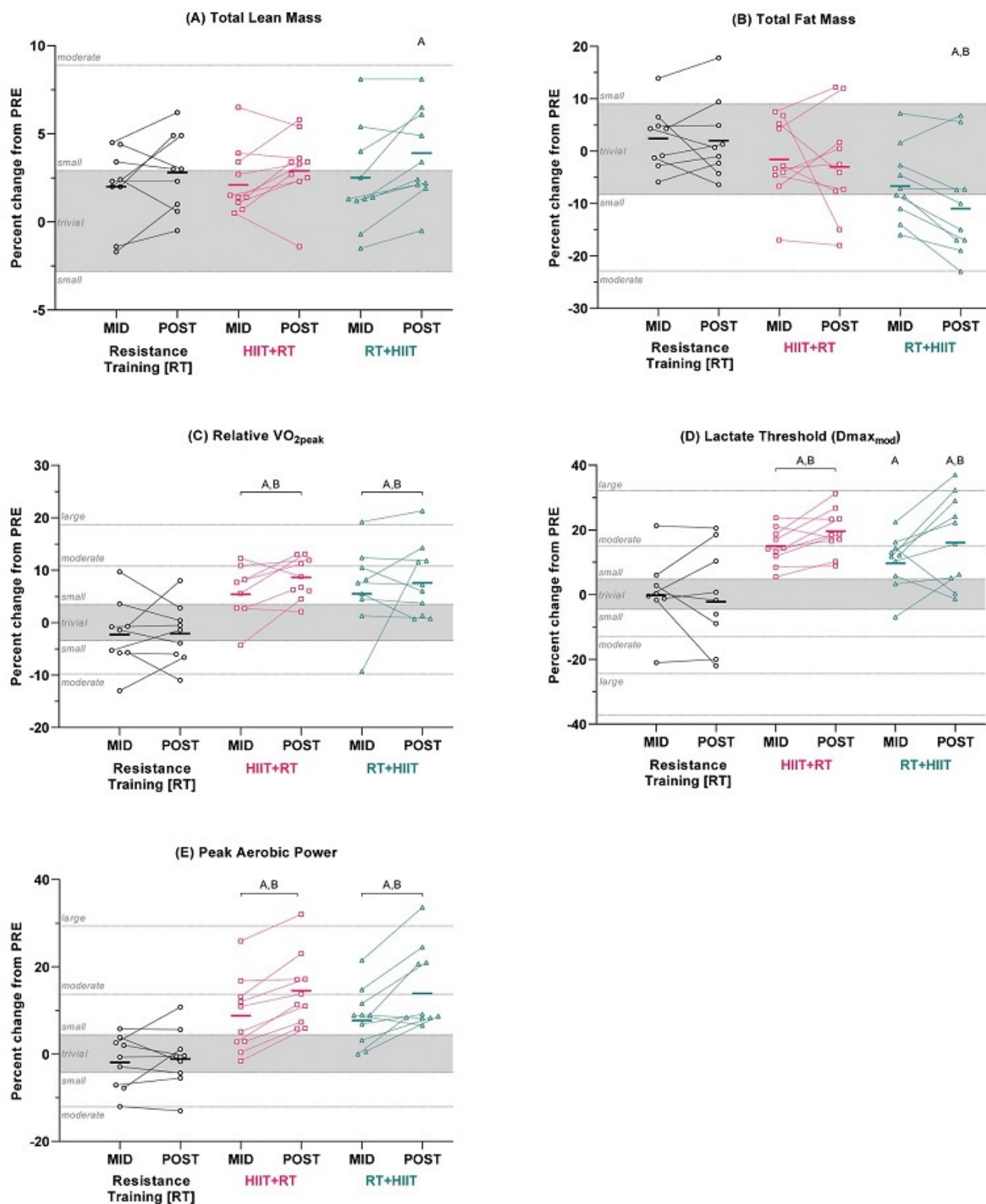


Figura 3. Cambios porcentuales en los índices de fuerza y potencia después de 5 (MEDIO) y 9 (POST) semanas de entrenamiento.

(A) Desplazamiento máximo del CMJ, (B) velocidad, (C) fuerza, (D) potencia y (E) fuerza de 1MR de press de piernas. Los datos son medias grupales ajustadas (línea sólida), más cambios porcentuales individuales no ajustados. La región trivial se determinó a partir del cambio más pequeño que valió la pena para cada variable ($0.2 \times SD$ combinada entre sujetos). a/A =

diferencia dentro del grupo vs PRE; b/B = diferencia entre grupos vs EF en el mismo punto de tiempo; c/C = diferencia entre grupos vs HIIT+EF en el mismo punto de tiempo. Las letras mayúsculas indican efectos que permanecieron claros después del ajuste para comparaciones múltiples.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233134.g003>

Tabla 2. Comparaciones entre grupos de cambios en todas las medidas de rendimiento, desde el entrenamiento PRE-a-MEDIO y PRE-POST.

Table 1. Baseline characteristics of each training group. Data are mean $\pm$ SD.

	RT-only (<i>n</i> = 9)	HIIT+RT (<i>n</i> = 10)	RT+HIIT (<i>n</i> = 10)
Lower-Body Maximal Strength			
Leg press 1-RM (kg)	344 $\pm$ 100	329 $\pm$ 94	327 $\pm$ 90
Relative 1-RM (kg kg _{BM} ⁻¹)	4.5 $\pm$ 0.9	4.4 $\pm$ 0.9	4.4 $\pm$ 0.9
Countermovement Jump Performance			
Peak Displacement (cm)	36 $\pm$ 7.0	35 $\pm$ 4.2	36 $\pm$ 5.9
Peak Velocity (m s ⁻¹)	2.72 $\pm$ 0.24	2.71 $\pm$ 0.15	2.75 $\pm$ 0.20
Peak Force (N)	959 $\pm$ 227 ^{aΔ}	1037 $\pm$ 256	1014 $\pm$ 174
Relative Peak Force (N kg _{BM} ⁻¹)	13 $\pm$ 2.4 ^{aΔ}	14 $\pm$ 2.0	14 $\pm$ 2.7
Peak Power (W)	3814 $\pm$ 689	3783 $\pm$ 720	3786 $\pm$ 712
Relative Peak Power (W kg _{BM} ⁻¹)	51 $\pm$ 9.5	51 $\pm$ 4.8	51 $\pm$ 7.9
Body Composition			
Total Lean Mass [LM] (kg)	54 $\pm$ 6.7	53 $\pm$ 8.1 ^{oΔ}	54 $\pm$ 8.1
Upper body LM (kg)	35 $\pm$ 4.0	33 $\pm$ 5.2 ^{oΔ}	35 $\pm$ 4.8
Lower body LM (kg)	19 $\pm$ 2.9	20 $\pm$ 3.1	20 $\pm$ 3.4
Fat Mass (kg)	14 $\pm$ 5.9	15 $\pm$ 6.8 ^Δ	13 $\pm$ 5.9
Aerobic Fitness			
Absolute $\dot{V}O_{2peak}$ (L min ⁻¹)	3.33 $\pm$ 0.76	3.36 $\pm$ 0.62	3.24 $\pm$ 0.54
Relative $\dot{V}O_{2peak}$ (mL kg ⁻¹ min ⁻¹)	44 $\pm$ 8.1	45 $\pm$ 7.2	44 $\pm$ 5.9
Lactate Threshold [$\dot{W}_{LT}$] (W)	157 $\pm$ 45	162 $\pm$ 38 ^Δ	153 $\pm$ 31
Peak Aerobic Power [$\dot{W}_{peak}$] (W)	215 $\pm$ 54	217 $\pm$ 46 ^Δ	205 $\pm$ 41
Habitual Dietary Intake			
Energy (kcal kg _{BM} ⁻¹ d ⁻¹)	33 $\pm$ 8 ^{aΔ}	36 $\pm$ 11	36 $\pm$ 9
Carbohydrate (g kg _{BM} ⁻¹ d ⁻¹)	3.2 $\pm$ 1.3 ^{aΔ}	4.0 $\pm$ 1.9	3.6 $\pm$ 1.0
Protein (g kg _{BM} ⁻¹ d ⁻¹)	2.0 $\pm$ 0.7 ^{aΔ}	1.9 $\pm$ 0.6 ^Δ	2.1 $\pm$ 0.6
Fat (g kg _{BM} ⁻¹ d ⁻¹)	1.2 $\pm$ 0.4 ^{aΔ}	1.5 $\pm$ 0.4 ^Δ	1.4 $\pm$ 0.4

^osmall difference vs RT;

^a small difference vs HIIT+RT;

^Δ small difference vs RT+HIIT. (i.e., standardised effect size, ES = 0.20–0.60). Differences at baseline were accounted for in the subsequent statistical analyses. kg_{BM}⁻¹, per kilogram of body mass

Los datos son diferencias porcentuales medias e intervalos de compatibilidad del 90% ($\pm$ 90% IC), más decisiones basadas en la magnitud de los tamaños de efectos estandarizados (ES) y las probabilidades cualitativas†.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233134.t002>

Fuerza de 1MR del Press de piernas

Todos los grupos aumentaron la fuerza de 1MR del press de piernas después de 5 semanas ([ES $\pm$ 90% IC] EF 0.49 $\pm$ 0.14; HIIT+EF 0.56 $\pm$ 0.18; EF+HIIT 0.54 $\pm$ 0.14) y después de 9 semanas (EF 0.74 $\pm$ 0.29; HIIT+EF 0.86 $\pm$ 0.24; EF+HIIT 0.84 $\pm$ 0.24), sin diferencias entre los grupos para los cambios en cualquier punto de tiempo (Figura 3e y Tabla 2). Se observaron efectos similares cuando se expresó la 1MR en relación con la masa corporal (kg kg_{BM}⁻¹), ver [S4 Appendix](#). La SD de las puntuaciones de cambio PRE a POST (EF 12.4%, HIIT+EF 8.3%, EF+HIIT 7.9%, respectivamente) fue considerablemente mayor que la SD de las puntuaciones de cambio en el estudio de confiabilidad (es decir, $\sqrt{2} \times CV = 4.9\%$; [S1 Appendix](#)), que representa la evidencia de respuestas individuales en cada grupo.

Composición corporal

Después de 5 semanas, cualquier cambio en la masa magra total, superior e inferior del cuerpo, así como la masa total de

grasa, fueron claramente triviales o no significativas. Del mismo modo, las diferencias entre los grupos fueron triviales o no sustanciales. Después de 9 semanas de entrenamiento, solo EF+HIIT indujo pequeñas mejoras en la masa magra total ([ES $\pm$ 90% IC] 0.26 $\pm$ 0.08), la masa magra de la parte superior del cuerpo (0.29 $\pm$ 0.09; S1 Figura) y la masa grasa total (-0.27 $\pm$ 0.16). Todos los demás cambios dentro de los grupos fueron claramente triviales o no significativos. Sin embargo, todas las diferencias entre los grupos fueron claramente triviales, con la excepción de la masa grasa total, que se redujo más por el EF+HIIT que por EF (-0.32 $\pm$ 0.18) (Figura 4a y 4b, y Tabla 2). Comparación de las SD de los cambios PRE a POST con la SD de los cambios en el estudio de confiabilidad (S1 Appendix), las respuestas individuales fueron evidentes en algunos grupos para la masa magra total (EF 2.3% vs 1.3%), la masa magra de la parte superior del cuerpo (HIIT+EF 2.4% vs 2.1%), la masa magra de la parte inferior del cuerpo (EF 3.2%, HIIT+EF 2.1%, EF+HIIT 2.4%, vs 1.6%) y masa grasa total (EF 6.3%, HIIT+EF 11.0%, EF+HIIT 11.7%, vs 4.1%).

Table 2. Between-group comparisons of changes in all performance measures, from PRE-to-MID and PRE-to-POST training. Data are mean percent differences and 90% compatibility intervals ($\pm$ 90%CI), plus magnitude-based decisions of standardised effect sizes (ES) and qualitative likelihoods†.

	PRE to MID			PRE to POST		
	"Interference effect"			"Interference effect"		
	RT vs HIIT+RT	RT vs RT+HIIT		HIIT+RT vs RT+HIIT	RT vs RT+HIIT	
Lower-body Maximal Strength						
Leg Press 1-RM	2.2, ±4.7%	1.6, ±3.3%	-0.6, ±4.2%	3.4, ±8.5%	2.8, ±8.4%	-0.6, ±6.0%
	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔	Trivial	Trivial	Trivial, ●↔
Countermovement Jump Performance						
Peak CMJ Displacement	-4.2, ±6.3%	-8.4, ±6.0%	-4.4, ±3.4%	-0.8, ±5.0%	-5.1, ±4.3%	-4.3, ±4.1%
	Small, *↓	Small, ●↓	Small, *↓	Trivial, *↔	Small, ●↓	Small, *↓
Peak CMJ Velocity	-1.7, ±2.8%	-3.9, ±2.8%	-2.3, ±1.5%	0.0, ±2.2%	-2.0, ±1.9%	-2.0, ±1.8%
	Small, *↓	Small, ●↓	Small, ●↓	Trivial, *↔	Small, *↓	Small, *↓
Peak CMJ Force (absolute)	-8.0, ±7.4%	-7.4, ±7.6%	0.5, ±8.5%	-5.6, ±7.4%	-8.2, ±7.1%	-2.7, ±7.0%
	Small, ●↓	Small, *↓	Trivial	Small, *↓	Small, ●↓	Trivial, *↓
Peak CMJ Power (absolute)	-7.1, ±3.5%	-9.4, ±3.5%	-2.5, ±2.9%	-4.4, ±5.1%	-6.0, ±4.7%	-1.6, ±3.9%
	Small, ●↓	Small, ●↓	Trivial, *↓	Small, *↓	Small, ●↓	Trivial, ●↔
Body Composition						
Total Lean Mass	0.1, ±1.6%	0.4, ±1.8%	0.3, ±1.4%	0.1, ±1.6%	1.0, ±1.6%	0.9, ±1.1%
	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔
Upper-Body Lean Mass	0.7, ±1.4%	0.6, ±1.7%	-0.1, ±1.4%	0.5, ±1.8%	1.8, ±1.5%	1.3, ±1.6%
	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔
Lower-Body Lean Mass	-0.6, ±2.4%	0.4, ±2.9%	0.9, ±2.3%	-0.3, ±2.2%	-0.2, ±2.3%	0.1, ±1.7%
	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔
Total Fat Mass	-3.9, ±5.2%	-8.9, ±4.5%	-5.2, ±6.0%	-4.9, ±6.5%	-12.8, ±6.3%	-8.3, ±7.7%
	Trivial, ●↔	Small, *↑	Trivial, ●↔	Trivial, ●↔	Small, ●↑	Small, *↑
Aerobic Fitness						
$\dot{V}O_{2peak}$ (relative)	7.9, ±4.1%	8.0, ±5.2%	0.1, ±4.9%	11.0, ±3.5%	10.0, ±3.7%	-0.9, ±2.9%
	Small, ●↑	Small, ●↑	Trivial	Moderate, ●↑	Small, ●↑	Trivial, ●
Lactate Threshold	15.2, ±8.9%	9.9, ±9.1%	-4.6, ±4.8%	22.3, ±12.4%	18.7, ±13.6%	-3.0, ±7.2%
	Moderate, ●↑	Small ●↑	Small, *↓	Moderate, ●↑	Moderate, ●↑	Trivial, *↓
Peak Aerobic Power	11.0, ±6.2%	9.8, ±5.2%	-1.0, ±4.9%	15.7, ±6.2%	15.1, ±6.4%	-0.5, ±5.5%
	Small, ●↑	Small, ●↑	Trivial, ●	Moderate, ●↑	Moderate, ●↑	Trivial

† < 0.20 = trivial; 0.20–0.60 = small; 0.60–1.2 = moderate. 0.20 defined smallest important effects.

*possible effect (i.e. $p = 0.25$ –0.75);

$\bullet$ likely or greater effect (i.e., $p \geq 0.75$); "unclear" comparisons have no symbol. Effects that remained clear after adjustment for multiple inferences are in **bold**.

† harmful/negative;

† beneficial/positive;

↔ trivial.

Figura 4. Cambios porcentuales en la composición corporal y el fitness aeróbico después de 5 (MEDIO) y 9 (POST) semanas de entrenamiento.

(A) Masa magra total, (B) masa grasa total, (C) VO2pico relativo, (D) umbral de lactato y (E) potencia aeróbica máxima. Los datos son medias grupales ajustadas (línea sólida) con cambios porcentuales individuales no ajustados. La región trivial se determinó a partir del cambio más pequeño que valió la pena para cada variable ($0.2 \times$ SD combinada entre sujetos). a/A = diferencia dentro del grupo vs PRE; b/B = diferencia entre grupos vs EF en el mismo punto de tiempo; c/C = diferencia

entre grupos vs HIIT+EF en el mismo punto de tiempo. Las letras mayúsculas indican los efectos que permanecieron claros después del ajuste para comparaciones múltiples. Nota: debido a una falla del equipo en el momento de la prueba, los cambios PRE-MEDIO no están disponibles para 2 participantes en HIIT+EF (VO2pico) y uno de EF (WUL).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233134.g004>

Fitness aeróbico

Después de 5 semanas, el entrenamiento concurrente, independientemente del orden de ejercicio, mejoró el VO2pico ([ES $\pm 90\%$ IC] HIIT+ EF 0.31 ± 0.18 ; EF+HIIT 0.31 ± 0.25), el WUL (HIIT+EF 0.60 ± 0.17 ; EF+HIIT 0.40 ± 0.21) y el Wpico (HIIT+EF 0.39 ± 0.21 ; EF+HIIT 0.35 ± 0.15). Estos cambios fueron superiores para EF (VO2pico: EFvsHIIT+EF 0.44 ± 0.24 ; EFvsEF+HIIT 0.45 ± 0.29 ; WUL: EFvsHIIT+EF: 0.61 ± 0.35 ; Wpico: EFvsHIIT+EF: 0.49 ± 0.28 ; RTvsRT + HIIT: 0.44 ± 0.24). Del mismo modo, después de 9 semanas, ambos grupos concurrentes mejoraron de manera similar (HIIT+EF 0.48 ± 0.15 ; EF+HIIT 0.43 ± 0.17), (HIIT+EF 0.77 ± 0.21 ; EF+HIIT 0.64 ± 0.33) y (HIIT+EF 0.63 ± 0.23 ; EF+HIIT 0.61 ± 0.23). Nuevamente, estos cambios fueron superiores a EF (VO2pico: EFvsHIIT+EF 0.61 ± 0.22 ; EFvsEF+HIIT 0.56 ± 0.23 ; WUL: EFvsHIIT+EF 0.87 ± 0.47 ; EFvsEF+HIIT 0.74 ± 0.51 ; Wpico: RTvsHIIT+EF 0.68 ± 0.29 ; EFvsEF +HIIT 0.65 ± 0.29). No hubo diferencias claras entre los órdenes del ejercicio concurrente para ninguna variable, en ningún momento (Figura 4c-4e y Tabla 2). Comparando las SD de los cambios PRE a POST con la SD de los cambios en el estudio de confiabilidad (S1 Appendix), las respuestas individuales fueron evidentes en algunos grupos para el VO2pico absoluto (EF 5.9% vs 4.4%), el WUL (EF 17.1%, EF+HIIT 12.8% vs 5.5%) y el Wpico (EF 6.7%, HIIT+EF 7.1%, EF+HIIT 7.5%, vs 4.5%).

Carga de entrenamiento

Todos los grupos completaron cargas externas similares en las sesiones de resistencia y fuerza, respectivamente (Tabla 3). El grupo HIIT+EF percibió una mayor carga interna del ejercicio de fuerza que EF (diferencia media $\pm 90\%$ IC: $25 \pm 20\%$, ES $\pm 90\%$ CI: 0.84 ± 0.60) y EF+HIIT ($-18 \pm 9.3\%$, -0.76 ± 0.44); no hubo una diferencia clara entre EF y EF+HIIT. Tampoco hubo diferencias entre HIIT+EF y EF+HIIT para la carga interna del ejercicio de resistencia.

Tabla 3. Promedio de cargas semanales de entrenamiento (tanto internas como externas), y puntajes promedio de "preparación para entrenar" (RTT) para las sesiones de entrenamiento prescritas (media $\pm$ SD).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233134.t003>

Table 3. Average weekly training loads (both internal and external), and average "readiness-to-train" (RTT) scores for the prescribed training sessions (mean $\pm$ SD).

	RT (n = 9)	HIIT+RT (n = 10)	RT+HIIT (n = 10)
Training compliance (%)	98 $\pm$ 3	96 $\pm$ 4	95 $\pm$ 5
Resistance Sessions			
Average Internal Load (AU)	269 $\pm$ 100	337 $\pm$ 84 ^{A,C}	275 $\pm$ 76
Absolute Volume Load (kg)*	14,800 $\pm$ 3,900	14,200 $\pm$ 4,500	14,600 $\pm$ 3,400
RTT total score	18.1 $\pm$ 2.7	16.3 $\pm$ 2.9 ^A	17.5 $\pm$ 3.4
Fatigue	3.3 $\pm$ 0.8	3.0 $\pm$ 0.8	3.2 $\pm$ 1.0
Sleep	3.6 $\pm$ 0.8	3.4 $\pm$ 0.8	3.5 $\pm$ 0.9
General Muscle Soreness	3.4 $\pm$ 0.9	2.9 $\pm$ 0.8 ^A	3.1 $\pm$ 1.0
Stress	3.8 $\pm$ 0.6	3.4 $\pm$ 0.8 ^A	3.7 $\pm$ 0.7
Mood	4.0 $\pm$ 0.5	3.6 $\pm$ 0.7 ^{A,C}	4.0 $\pm$ 0.6
Endurance Sessions			
Average Internal Load	-	218 $\pm$ 71	217 $\pm$ 49
Absolute Work Done (kJ)	-	997 $\pm$ 230	929 $\pm$ 190
RTT total score	-	17.1 $\pm$ 3.1	17.3 $\pm$ 3.3
Fatigue	-	3.2 $\pm$ 0.9	3.2 $\pm$ 0.9
Sleep	-	3.4 $\pm$ 0.9	3.5 $\pm$ 0.9
General Muscle Soreness	-	3.3 $\pm$ 0.9	3.0 $\pm$ 0.9
Stress	-	3.5 $\pm$ 0.8	3.7 $\pm$ 0.7
Mood	-	3.7 $\pm$ 0.7	3.9 $\pm$ 0.6

^A = difference vs RT;

^C = difference vs RT+HIIT. Capital letters denote effects remained clear after adjustment for multiple comparisons.

*sets $\times$ reps $\times$ weight lifted (kg)

Preparación para entrenar

Antes de las sesiones de fuerza, el grupo HIIT+EF informó puntuaciones más bajas (es decir, peores) que EF para el bienestar total (diferencia media bruta $\pm 90\%$ CI: -1.8 ± 1.4 , ES $\pm 90\%$ CI: -0.60 ± 0.46), dolor muscular general (-0.6 ± 0.4 , -0.62 ± 0.46), estrés (-0.4 ± 0.3 , -0.51 ± 0.40) y estado de ánimo (-0.4 ± 0.2 , -0.68 ± 0.39). Las puntuaciones del humor también fueron mayores en EF+HIIT que en HIIT+EF (0.4 ± 0.3 , 0.65 ± 0.47). No hubo diferencias entre EF y EF+HIIT para ninguna medida. Antes de las sesiones de resistencia, no hubo diferencias claras entre HIIT+EF y EF+HIIT para ninguna medida (Table 3).

Discusión

Descubrimos en hombres sanos, moderadamente activos, que el entrenamiento concurrente mejoraba tanto la fuerza máxima como la masa magra en comparación con el entrenamiento sólo de fuerza, independientemente del orden de ejercicio. Además, ambos grupos concurrentes (HIIT+EF y EF+HIIT), pero no EF, mejoraron de manera similar el VO₂pico, el WUL y el Wpico, independientemente del orden de ejercicio. Sin embargo, en comparación con EF, la realización simultánea del entrenamiento EF+HIIT durante nueve semanas atenuó el desarrollo del desplazamiento, la fuerza y la potencia del CMJ. Solo el entrenamiento EF+HIIT indujo una reducción significativa en la masa grasa total.

Rendimiento del salto con contramovimiento

Nueve semanas de entrenamiento sólo de fuerza mejoraron la mayoría de las medidas de rendimiento del CMJ (con excepción de la fuerza expresada respecto a la masa corporal). En comparación, el EF+HIIT mitigó el desarrollo del desplazamiento del CMJ, así como la fuerza absoluta y la potencia. Nuestros resultados son congruentes con los reportes previos de la fuerza y potencia del CMJ atenuadas [35,63], y la altura del salto [39,63,64] luego del entrenamiento concurrente. Nosotros no sabemos por qué la fuerza y la potencia del CMJ eran reducidas luego de EF+HIIT; sin embargo, puesto que la fuerza y masa magra total estaban sin cambios, nosotros especulamos que otros mecanismos neuromusculares pueden ser responsables. Los estudios previos han demostrado reducciones en la activación rápida voluntaria de músculos entrenados [38] con el entrenamiento concurrente vs entrenamiento de un sólo modo, limitando la capacidad de generar fuerza del músculo como consecuencia. Sin embargo, ya que nosotros no medimos los cambios en la activación voluntaria, es difícil de dar una explicación mecánica para los cambios de entre grupos divergentes en los parámetros del CMJ. No obstante, nuestros resultados dan apoyo a la noción de que la fuerza y la potencia pueden ser más susceptibles al efecto de la interferencia que la fuerza muscular e hipertrofia [10,65], particularmente cuando el ejercicio de fuerza se ha realizado primero. Es de notar que atenuaciones similares no fueron evidentes en el grupo HIIT+EF. Es posible que la sesión de RT de todo el cuerpo haya inducido una fatiga neuromuscular mayor y más duradera que la sesión HIIT de ciclismo, que cuando se realiza después de EF, compromete las adaptaciones neuromusculares que rigen la capacidad de generación de fuerza. Claramente, más investigación es necesaria para determinar los mecanismos neuromusculares de por qué el HIIT interfiere con las mejoras inducidas por EF sobre el rendimiento del CMJ. No obstante, los resultados presentes indican que si el objetivo es maximizar las adaptaciones relacionadas con la potencia, de ser posible, el EF debe realizarse en aislamiento (es decir, ≥ 24 hs de recuperación entre las sesiones), o si se realiza en el mismo día, hacerlo al menos 3 horas después del HIIT.

Fuerza máxima

El ejercicio de resistencia ha sido propuesto para afectar 'agudamente' la calidad del entrenamiento de la fuerza posterior, o a través de la fatiga residual inducida por el ejercicio, o una reducción anticipatoria en el esfuerzo (si el entrenamiento de la fuerza se ha realizado primero) [12,36,66]. En el presente estudio, el volumen del entrenamiento de la fuerza y las mejoras subsecuentes en la fuerza de 1MR fueron similares luego del entrenamiento de sólo fuerza y del entrenamiento concurrente (independiente del orden del ejercicio), corroborando los resultados previos [4,67-72]. Es más, la mejora observada (~ 24 -28%) es típica de las ganancias en 1MR del press de piernas previamente reportadas en poblaciones similares [73-75].

Anteriormente demostramos ganancias de fuerza atenuadas después de 8 semanas de entrenamiento concurrente HIIT+EF, cuando las sesiones se realizaban en estrecha proximidad (10 min) [35]. En el presente estudio, adoptamos un período de recuperación entre los modos más ecológicamente válido de 3 horas, como a menudo se utiliza en muchas poblaciones deportivas [40-43]. Esta duración puede haber brindado a los participantes suficiente tiempo para recuperarse e implementar estrategias nutricionales para respaldar el rendimiento del ejercicio posterior y las adaptaciones del entrenamiento. Dadas las cargas externas del volumen de fuerza coincidentes en los tres grupos, parece que el rendimiento de la segunda sesión y, por lo tanto, el estímulo para el desarrollo de la fuerza, no se vio afectado por la sesión de HIIT anterior, evitando así un efecto de interferencia. Sin embargo, los datos de la "preparación para entrenar" y de la carga interna sugieren que realizar HIIT primero redujo las percepciones de preparación antes y aumentó las percepciones de esfuerzo durante las sesiones de entrenamiento de la fuerza en comparación con EF y EF+HIIT, que realizaron primero el ejercicio de fuerza. El estrés fisiológico asociado con un turno anterior de HIIT pudo haber inducido alguna fatiga residual o dolor muscular que no tenían totalmente disipado durante la recuperación de 3 horas, aunque el grupo de EF

tuvo un volumen de entrenamiento total inferior y un período de recuperación más largo entre las sesiones de entrenamiento, contribuyendo a bajar las percepciones del dolor posiblemente. Si bien esto no se tradujo en deterioradas cargas de entrenamiento de fuerza y ganancias de fuerza, sigue siendo especulativo si una mayor duración del programa de entrenamiento habría provocado diferencias más observables en las cargas internas y externas, y las adaptaciones de la fuerza posteriores. De hecho, otros han observado mayores aumentos en las cargas de entrenamiento durante 12 semanas al realizar primero las sesiones de entrenamiento de fuerza, en comparación con el orden inverso [19], y las ganancias de fuerza se atenúan sólo después de 8 semanas de entrenamiento [76,77]. A pesar de la influencia de medidas subjetivas, es posible que la modalidad HIIT (ciclismo) y la intensidad no perjudicaron la función neuromuscular en un grado necesario para reducir el rendimiento posterior del EF y las cargas del volumen. Sin embargo, también merece la pena notar que el "prepararse para el entrenamiento" fue dirigido antes de la entrada en calor, y las percepciones de esa preparación pudieron haber mejorado después, como se ha observado en otra parte [78]. No obstante, el presente programa de entrenamiento concurrente de corta duración, a pesar del orden del ejercicio, no limitó el desarrollo de la fuerza máxima dinámica del tren inferior, comparado al entrenamiento sólo de fuerza, en hombres sanos, moderadamente activos.

Composición corporal

Aunque los cambios en la masa magra total solo se consideraron significativos para EF+HIIT (tanto EF como HIIT+EF indujeron cambios "posibles"), todos los grupos mostraron efectos positivos triviales a pequeños, cuyas diferencias fueron triviales. Hemos demostrado previamente que atenuaciones a los aumentos derivados de la DXA en la masa magra de la parte inferior del cuerpo, cuando el entrenamiento de la fuerza se realizó 10 minutos después de un HIIT de ciclismo [35]. Sin embargo, gran parte de la literatura existente no respalda un efecto de interferencia del ejercicio de resistencia sobre la hipertrofia [9], y se han observado atenuaciones en la fuerza sin hipertrofia comprometida [76]. Un meta-análisis reciente también informó que no hubo efectos de interferencia de HIIT y EF concurrentes en la masa magra total y en la parte inferior del cuerpo [79]. Las contracciones de alta intensidad reclutan más motoneuronas de contracción rápida de alto umbral [80], y las similitudes biomecánicas entre el HIIT de ciclismo y los ejercicios de fuerza de la parte inferior del cuerpo [81] pueden haber proporcionado un estímulo hipertrófico sinérgico, en lugar de antagónico, en un rango mayor de fibras musculares [9, 79]. Finalmente, de acuerdo con las recomendaciones para maximizar la síntesis de proteínas después del ejercicio [58], los participantes recibieron proteínas después de cada sesión (0.25 g.kgBM⁻¹ [$\approx$ 20 g proteínas, $\approx$ 2 g leucina/porción]). También consumían habitualmente $\sim$ 1.9-2.1 g.kgBM⁻¹.d⁻¹ de proteínas (determinada a través de registros diarios de alimentos realizados al inicio del estudio), que excede el límite superior ($\sim$ 1.6 g.kgBM⁻¹.d⁻¹) para maximizar los cambios inducidos por el entrenamiento de la fuerza sobre la masa libre de grasa [82].

El entrenamiento EF+HIIT concurrente redujo la masa grasa total, aunque el HIIT+EF y el EF indujeron sólo cambios triviales. Similares reducciones (-16.2%) se han observado en hombres sedentarios que son sometidos a 8 semanas de realizar entrenamiento de la fuerza 15-20 minutos antes de las sesiones de resistencia basadas en la carrera [83]. Un turno anterior de ejercicio de fuerza se ha demostrado que aumenta el consumo de oxígeno [84,85] y el metabolismo de las grasas [86,87] durante el ejercicio de resistencia subsecuente. Como tal, realizando el ejercicio de fuerza antes del ejercicio de resistencia puede promover un gasto energético total mayor y potencialmente el metabolismo de las grasas. Sin embargo, otros no han demostrado ningún efecto de orden en el consumo de oxígeno durante [88,89] y después de sesiones concurrentes [90]. En lugar del programa de entrenamiento per se, también es posible que los cambios divergentes de grupo en la masa grasa se relacionen con cambios en la ingesta total de energía durante el transcurso del programa de entrenamiento. Una limitación del estudio es que la ingesta habitual energética sólo se cuantificó utilizando diarios alimentarios al inicio del estudio. Sin embargo, utilizando los datos de la composición corporal y las densidades de energía supuestas de la masa libre de grasa (1 kcal·g⁻¹) y la masa grasa (9.5 kcal·g⁻¹) [91-93], pudimos estimar cambios en el balance de energía entre puntos de tiempo, que se correlacionaron casi perfectamente con los cambios en la masa grasa (PRE a MEDIO $r = 0.980$, $R^2 = 0.960$; PRE a POST $r = 0.987$, $R^2 = 0.974$). Además, la mayoría de los participantes de EF+HIIT (representados en la Figura S2) parecen haber tenido un balance energético negativo durante todo el estudio, mientras que las cohortes de HIIT+EF y de EF parecen dividirse más uniformemente entre los estados de energía positiva y negativa. En conjunto, los resultados sugieren que se logran mayores pérdidas de la masa de grasa cuando se encuentra bajo un mayor déficit de energía, independientemente de los diferentes modos de entrenamiento completados aquí.

Fitness aeróbico

A diferencia de las adaptaciones del entrenamiento de la fuerza, el desarrollo de la capacidad aeróbica puede no ser tan susceptible al efecto de la interferencia [10], aunque algunas pruebas indican que el rendimiento agudo de resistencia aún puede verse comprometido por el dolor y el daño muscular inducido por el ejercicio de fuerza anterior, la fatiga neuromuscular, la eficiencia de movimiento reducida y el agotamiento del glucógeno muscular [94]. Así, el entrenamiento de esa manera puede disminuir las adaptaciones posteriores relacionadas con la resistencia. De hecho, la realización de HIIT antes de EF durante 12 semanas mejoró el VO₂pico y el rendimiento de 4 km contrareloj más que el orden inverso [23]. Otros mostraron mayores mejoras en el VO₂pico cuando las sesiones de EF y HIIT estaban separadas por 24 hs, en

comparación con 0 hs y 6 hs [43]. Nuestro programa de entrenamiento concurrente, con sólo 3 hs entre sesiones, indujo mejoras de pequeñas a moderadas en el VO₂pico, el WUL y el Wpico independientemente del orden de ejercicio, mientras que el entrenamiento de EF no lo hizo. Los resultados contradictorios para aquellos que demuestran adaptaciones de la resistencia dependientes del orden [23] y subóptimas [43] probablemente se deban a diferentes modalidades de resistencia empleadas. Los estudios previos utilizaron la carrera [23, 43], mientras que nosotros empleamos el ciclismo. Se ha demostrado que realizar ejercicios de fuerza primero perjudica el rendimiento posterior de la carrera más que el orden inverso [13]. Además, la acción de correr soporta el peso y puede inducir un mayor estrés fisiológico que el ciclismo debido a una mayor carga excéntrica involucrada [95]. Es posible que la fatiga neuromuscular residual de las sesiones de EF anteriores haya comprometido el rendimiento de la carrera (y, por lo tanto, el estímulo para las adaptaciones relacionadas con la resistencia) en mayor medida en estudios anteriores, y haya requerido una recuperación más prolongada entre los modos que si se combinara con un HIIT de ciclismo [95], que también muestra mayores similitudes biomecánicas con los ejercicios de EF realizados que la carrera [81]. Los resultados actuales podrían esperarse, dadas las cargas internas y externas del entrenamiento de resistencia similares en ambos grupos concurrentes. Además, las mejoras en el VO₂pico relativo (~8 a 9%) son proporcionales a otros estudios que utilizan cohortes de participantes similares, que no muestran una interferencia [8,37,76,96], ni un efecto del orden de ejercicio [20,22,27,30,32] sobre la capacidad de resistencia. Si bien los mecanismos que contribuyen a la mejora del fitness aeróbico en el presente estudio no fueron determinados, ambos grupos concurrentes mostraron aumentos robustos en la capacidad y potencia aeróbica, lo que respalda la opinión de que el desarrollo del fitness aeróbico no está limitado por la adición del entrenamiento de la fuerza. Sin embargo, no incluimos ninguna medida directa de los índices de rendimiento de resistencia (por ej., test de rendimiento contrarreloj de distancia fija o basado en el trabajo, tests de economía de movimiento), que pueden verse afectados por el orden concurrente de la sesión de entrenamiento y la duración de la recuperación (ver [94,95]).

Otras consideraciones

Aunque este estudio investigó específicamente el rol del orden de ejercicio, los efectos de otras variables de entrenamiento y de "no entrenamiento" no pueden ignorarse al interpretar los resultados [97]. Por ejemplo, una frecuencia de entrenamiento >3 d·sem⁻¹ puede aumentar la probabilidad de un efecto de interferencia [10,76,98]. Además, prolongar la duración de la recuperación entre modos (>8-24 horas) puede beneficiar aún más el rendimiento del ejercicio de fuerza [16], la fuerza [6, 36], la hipertrofia [6, 7] y las adaptaciones aeróbicas [22]. El período de entrenamiento relativamente corto (9 semanas) y el estado de entrenamiento de los participantes también pueden haber afectado las adaptaciones observadas. Cuando no se está acostumbrado a un régimen de entrenamiento particular, se inducen varias adaptaciones genéricas, independientes del tipo de estímulo [99-102], mientras que un efecto de interferencia, particularmente en la fuerza, puede hacerse más evidente en individuos altamente entrenados con antecedentes de entrenamiento prolongados (y para quienes el potencial de adaptación es comparativamente menor) [103].

También reconocemos pequeños tamaños de muestra de cada grupo, que hemos determinado que necesitarían ser 1.1-2.6× mayores para que los efectos promedios poco claros tengan intervalos de compatibilidad aceptablemente cercanos. Además, muchas de las desviaciones estándar de los puntajes de cambio dentro de los grupos excedieron los SD de los puntajes de cambio derivados en el estudio de confiabilidad (S1 Appendix), por un margen suficiente para indicar evidencia razonable de respuestas individuales en todos los grupos. Las respuestas individuales también parecieron ser mayores en algunos grupos que en otros; sin embargo, el pequeño tamaño de la muestra impidió comparaciones entre los grupos de las respuestas individuales [104].

Conclusiones

El orden del ejercicio concurrente no parece mediar la interferencia para contrastar adaptaciones de fuerza o resistencia en hombres moderadamente activos, en un período de entrenamiento de corta duración. Sin embargo, algunas medidas de rendimiento del salto con contramovimiento (desplazamiento máximo, fuerza, y potencia) se vieron comprometidas, particularmente cuando el EF se realizó antes del HIIT. Es más, el orden del ejercicio puede alterar la motivación de los participantes para entrenarse, afectando sus percepciones subjetivas del esfuerzo negativamente durante las sesiones del ejercicio de fuerza cuando se realizaron después de sesiones de ejercicio de resistencia (es decir, HIIT+EF piden). Si bien las implicaciones a largo plazo (meses a años) del entrenamiento de esta manera no pueden determinarse a partir del presente trabajo, las personas sanas y moderadamente activas que participan en el entrenamiento concurrente en el mismo día con duraciones de recuperación cortas pueden elegir un orden de ejercicio basado en la preferencia individual o, quizás lo más importante, periodizado según los objetivos más importantes de una fase de entrenamiento específico.

Agradecimientos

Agradecemos los esfuerzos dedicados y el compromiso de los participantes voluntarios para ser parte en este estudio, sin los cuales esta investigación no hubiera sido posible. También nos gustaría agradecer a Nicholas Saner, Nathan Pitchford, Claire Plissonneau y Alejandra Villarreal por su ayuda con la recopilación de datos.

REFERENCIAS

1. Fyfe JJ, Bishop DJ, Stepto NK. (2014). Interference between concurrent resistance and endurance exercise: molecular bases and the role of individual training variables. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2014;44(6):743-62. *pmid:24728927*.
2. Hawley JA. (2009). Molecular responses to strength and endurance training: are they incompatible? *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*. 2009;34(3):355-61. *pmid:19448698*.
3. Cantrell GS, Schilling BK, Paquette MR, Murlasits Z. (2014). Maximal strength, power, and aerobic endurance adaptations to concurrent strength and sprint interval training. *European journal of applied physiology*. 2014;114(4):763-71. *Epub 2014/01/07. pmid:24390691*.
4. Glowacki SP, Martin SE, Maurer A, Baek W, Green JS, Crouse SF. (2004). Effects of resistance, endurance, and concurrent exercise on training outcomes in men. *Medicine and science in sports and exercise*. 2004;36(12):2119-27. *Epub 2004/12/01. pmid:15570149*.
5. Laird RHt, Elmer DJ, Barberio MD, Salom LP, Lee KA, Pascoe DD. (2016). Evaluation of performance improvements after either resistance training or sprint interval-based concurrent training. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2016;30(11):3057-65. *Epub 2016/10/25. pmid:26950345*.
6. McCarthy JP, Agre JC, Graf BK, Pozniak MA, Vailas AC. (1995). Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Medicine and science in sports and exercise*. 1995;27(3):429-36. *Epub 1995/03/01. pmid:7752872*.
7. McCarthy JP, Pozniak MA, Agre JC. (2002). Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Medicine and science in sports and exercise*. 2002;34(3):511-9. *Epub 2002/03/07. pmid:11880817*.
8. Leveritt M, Abernethy PJ, Barry B, Logan PA. (2003). Concurrent strength and endurance training: the influence of dependent variable selection. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2003;17(3):503-8. *Epub 2003/08/22. pmid:12930177*.
9. Murach KA, Bagley JR. (2016). Skeletal muscle hypertrophy with concurrent exercise training: contrary evidence for an interference effect. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2016;46(8):1029-39. *Epub 2016/03/05. pmid:26932769*.
10. Wilson JM, Marin PJ, Rhea MR, Wilson SM, Loenneke JP, Anderson JC. (2012). Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2012;26(8):2293-307. *pmid:22002517*
11. Fyfe JJ, Loenneke JP. (2017). Interpreting adaptation to concurrent compared with single-mode exercise training: some methodological considerations. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2018;48(2):289-97. *Epub 2017/11/12. pmid:29127601*.
12. Leveritt M, Abernethy PJ, Barry BK, Logan PA. (1999). Concurrent strength and endurance training. A review. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 1999;28(6):413-27. *Epub 2000/01/07. pmid:10623984*.
13. Doma K, Deakin GB. (2013). The effects of strength training and endurance training order on running economy and performance. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*. 2013;38(6):651-6. *Epub 2013/06/04. pmid:23724883*.
14. Inoue DS, Panissa VL, Monteiro PA, Gerosa-Neto J, Rossi FE, Antunes BM, et al. (2015). Immunometabolic responses to concurrent training: the effects of exercise order in recreational weightlifters. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2016;30(7):1960-7. *Epub 2015/12/03. pmid:26626027*.
15. Jones TW, Howatson G, Russell M, French DN. (2016). Effects of strength and endurance exercise order on endocrine responses to concurrent training. *European journal of sport science*. 2017;17(3):326-34. *Epub 2016/11/08. pmid:27817246*.
16. Sporer BC, Wenger HA. (2003). Effects of aerobic exercise on strength performance following various periods of recovery. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2003;17(4):638-44. *Epub 2003/11/26. pmid:14636098*.
17. Grgic J, Schoenfeld BJ, Davies TB, Lazinica B, Krieger JW, Pedisic Z. (2018). Effect of Resistance Training Frequency on Gains in Muscular Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2018;48(5):1207-20. *pmid:29470825*
18. Schoenfeld BJ, Ogborn D, Krieger JW. (2017). Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *Journal of sports sciences*. 2017;35(11):1073-82. *Epub 2016/07/20. pmid:27433992*.
19. Cadore EL, Izquierdo M, Pinto SS, Alberton CL, Pinto RS, Baroni BM, et al. (2013). Neuromuscular adaptations to concurrent training in the elderly: effects of intrasession exercise sequence. *Age*. 2013;35(3):891-903. *pmid:22453934*.
20. Cadore EL, Izquierdo M, Alberton CL, Pinto RS, Conceicao M, Cunha G, et al. (2012). Strength prior to endurance intra-session exercise sequence optimizes neuromuscular and cardiovascular gains in elderly men. *Experimental gerontology*. 2012;47(2):164-9. *pmid:22178632*.
21. Pinto SS, Cadore EL, Alberton CL, Zaffari P, Bagatini NC, Baroni BM, et al. (2014). Effects of intra-session exercise sequence during water-based concurrent training. *International journal of sports medicine*. 2014;35(1):41-8. *Epub 2013/06/19. pmid:23771835*.
22. Schumann M, Yli-Peltola K, Abbiss CR, Hakkinen K. (2015). Cardiorespiratory Adaptations during Concurrent Aerobic and Strength Training in Men and Women. *PloS one*. 2015;10(9):e0139279. *Epub 2015/09/30. pmid:26418015*.
23. 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. *British journal of sports medicine*. 2005;39(8):555-60. *pmid:16046343*.
24. Kuusmaa M, Schumann M, Sedliak M, Kraemer WJ, Newton RU, Malinen JP, et al. (2016). Effects of morning versus evening combined strength and endurance training on physical performance, muscle hypertrophy, and serum hormone concentrations. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*.

2016;41(12):1285-94. Epub 2016/11/20. pmid:27863207.

25. Murlasits Z, Kneffel Z, Thalib L. (2017). The physiological effects of concurrent strength and endurance training sequence: A systematic review and meta-analysis. *Journal of sports sciences*. 2018;36(11):1212-9. Epub 2017/08/08. pmid:28783467.
26. Eddens L, van Someren K, Howatson G. (2018). The role of intra-session exercise sequence in the interference effect: a systematic review with meta-analysis. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2018;48(1):177-88. Epub 2017/09/17. pmid:28917030
27. Collins MA, Snow TK. (1993). Are adaptations to combined endurance and strength training affected by the sequence of training? *Journal of sports sciences*. 1993;11(6):485-91. pmid:8114172.
28. Davitt PM, Pellegrino JK, Schanzer JR, Tjionas H, Arent SM. (2014). The effects of a combined resistance training and endurance exercise program in inactive college female subjects: does order matter? *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2014;28(7):1937-45.
29. Eklund D, Schumann M, Kraemer WJ, Izquierdo M, Taipale RS, Hakkinen K. (2016). Acute Endocrine and Force Responses and Long-Term Adaptations to Same-Session Combined Strength and Endurance Training in Women. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2016;30(1):164-75. Epub 2015/05/29. pmid:26020708.
30. MacNeil LG, Glover E, Bergstra TG, Safdar A, Tarnopolsky MA. (2014). The order of exercise during concurrent training for rehabilitation does not alter acute genetic expression, mitochondrial enzyme activity or improvements in muscle function. *PloS one*. 2014;9(10):e109189. Epub 2014/10/08. pmid:25289940.
31. McGawley K, Andersson PI. (2013). The order of concurrent training does not affect soccer-related performance adaptations. *International journal of sports medicine*. 2013;34(11):983-90. Epub 2013/05/24. pmid:23700329.
32. Schumann M, Kuusmaa M, Newton RU, Sirparanta AI, Syvaaja H, Hakkinen A, et al. (2014). Fitness and lean mass increases during combined training independent of loading order. *Medicine and science in sports and exercise*. 2014;46(9):1758-68. pmid:24518195.
33. Wilhelm EN, Rech A, Minozzo F, Botton CE, Radaelli R, Teixeira BC, et al. (2014). Concurrent strength and endurance training exercise sequence does not affect neuromuscular adaptations in older men. *Experimental gerontology*. 2014;60:207-14. Epub 2014/12/03. pmid:25449853.
34. Cadore EL, Pinto RS, Lhullier FL, Correa CS, Alberton CL, Pinto SS, et al. (2010). Physiological effects of concurrent training in elderly men. *International journal of sports medicine*. 2010;31(10):689-97. Epub 2010/07/10. pmid:20617484.
35. Fyfe JJ, Bartlett JD, Hanson ED, Stepto NK, Bishop DJ. (2016). Endurance training intensity does not mediate interference to maximal lower-body strength gain during short-term concurrent training. *Frontiers in physiology*. 2016;7:487. Epub 2016/11/20. pmid:27857692.
36. Sale D, Jacobs I, MacDougall J, Garner S. (1990). Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Medicine and science in sports and exercise*. 1990;22(3):348-56. pmid:2381303.
37. Bell GJ, Syrotaik D, Martin TP, Burnham R, Quinney HA. (2000). Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *European journal of applied physiology*. 2000;81(5):418-27. Epub 2000/04/06. pmid:10751104.
38. Häkkinen K, Alen M, Kraemer WJ, Gorostiaga E, Izquierdo M, Rusko H, et al. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European journal of applied physiology*. 2003;89(1):42-52. Epub 2003/03/11. pmid:12627304.
39. Hennessy LC, Watson AW. (1994). The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 1994;8(1):12-9.
40. Cross R, Siegler J, Marshall P, Lovell R. (2019). Scheduling of training and recovery during the in-season weekly micro-cycle: Insights from team sport practitioners. *European journal of sport science*. 2019;1-10. pmid:30922202
41. Enright K, Morton J, Iga J, Drust B. (2015). The effect of concurrent training organisation in youth elite soccer players. *European journal of applied physiology*. 2015;115(11):2367-81. pmid:26188880
42. Enright K, Morton J, Iga J, Drust B. (2017). Implementing concurrent-training and nutritional strategies in professional football: a complex challenge for coaches and practitioners. *Science & Medicine in Football*. 2017;1(1):65-73.
43. Robineau J, Babault N, Piscione J, Lacombe M, Bigard AX. (2016). Specific training effects of concurrent aerobic and strength exercises depend on recovery duration. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2016;30(3):672-83. Epub 2014/12/30. pmid:25546450.
44. Baar K. (2014). Using molecular biology to maximize concurrent training. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2014;44 Suppl 2:S117-25. Epub 2014/10/31. pmid:25355186.
45. Girard J, Feng B, Chapman C. (2018). The effects of high-intensity interval training on athletic performance measures: a systematic review. *Physical Therapy Reviews*. 2018;23(2):151-60.
46. Chavda S, Bromley T, Jarvis P, Williams S, Bishop C, Turner AN, et al. (2018). Force-time characteristics of the countermovement jump: analyzing the curve in excel. *Strength Cond J*. 2018;40(2):67-77.
47. Baechle TR, Earle RW. (2008). Essentials of Strength Training and Conditioning. Baechle TR, Earle RW, editors. Champaign, IL: Human Kinetics.
48. Zourdos MC, Klemp A, Dolan C, Quiles JM, Schau KA, Jo E, et al. (2015). Novel resistance training-specific rating of perceived exertion scale measuring repetitions in reserve. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2016;30(1):267-75. Epub 2015/06/08. pmid:26049792.
49. Jamnick NA, Botella J, Pyne DB, Bishop DJ. (2018). Manipulating graded exercise test variables affects the validity of the lactate threshold and VO2peak. *PloS one*. 2018;13(7):e0199794. pmid:30059543
50. Newell J, Higgins D, Madden N, Cruickshank J, Einbeck J, McMillan K, et al. (2007). Software for calculating blood lactate endurance markers. *Journal of sports sciences*. 2007;25(12):1403-9. Epub 2007/09/06. pmid:17786693.
51. Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. (1970). *Scandinavian journal of rehabilitation medicine*. 1970;2(2):92-8. Epub 1970/01/01. pmid:5523831.

52. Nana A, Slater GJ, Hopkins WG, Burke LM. (2012). Effects of daily activities on dual-energy X-ray absorptiometry measurements of body composition in active people. *Medicine and science in sports and exercise*. 2012;44(1):180-9. Epub 2011/12/20. pmid:22179140.
53. Nana A, Slater GJ, Hopkins WG, Burke LM. (2012). Effects of exercise sessions on DXA measurements of body composition in active people. *Medicine and science in sports and exercise*. 2013;45(1):178-85. Epub 2012/08/17. pmid:22895377.
54. Krueger D, Siglinsky E, Buehring B, Binkley N. (2017). Total Body Less Head Measurement Is Most Appropriate for Lean Mass Assessment in Adults. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*. 2017;20(1):128-9. Epub 2016/10/25. pmid:27773537.
55. McLean BD, Coutts AJ, Kelly V, McGuigan MR, Cormack SJ. (2010). Neuromuscular, endocrine, and perceptual fatigue responses during different length between-match microcycles in professional rugby league players. *International journal of sports physiology and performance*. 2010;5(3):367-83. Epub 2010/09/24. pmid:20861526.
56. Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, et al. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2001;15(1):109-15. Epub 2001/11/16. pmid:11708692.
57. Haddad M, Stylianides G, Djaoui L, Dellal A, Chamari K. (2017). Session-RPE method for training load monitoring: validity, ecological usefulness, and influencing factors. *Frontiers in neuroscience*. 2017;11:612. Epub 2017/11/23. pmid:29163016.
58. Morton RW, McGlory C, Phillips SM. (2015). Nutritional interventions to augment resistance training-induced skeletal muscle hypertrophy. *Frontiers in physiology*. 2015;6(245):1-9. Epub 2015/09/22. pmid:26388782.
59. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. (2008). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and science in sports and exercise*. 2009;41(1):3-13. Epub 2008/12/19. pmid:19092709.
60. Lakens D, Scheel AM, Isager PM. (2018). Equivalence Testing for Psychological Research: A Tutorial. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*. 2018;1(2):259-69.
61. Hopkins WG. (2019). A spreadsheet for bayesian posterior compatibility intervals and magnitude-based decisions. *Sportscience*. 2019;23:5-7.
62. Hopkins WG, Batterham AM. (2018). The vindication of magnitude-based inference. *Sportscience*. 2018;22:19-29.
63. Chtara M, Chaouachi A, Levin GT, Chaouachi M, Chamari K, Amri M, et al. (2008). Effect of concurrent endurance and circuit resistance training sequence on muscular strength and power development. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2008;22(4):1037-45. Epub 2008/06/12. pmid:18545210.
64. Ronnestad BR, Hansen EA, Raastad T. (2012). High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *European journal of applied physiology*. 2012;112(4):1457-66. Epub 2011/08/13. pmid:21833484.
65. Kraemer WJ, Patton JF, Gordon SE, Harman EA, Deschenes MR, Reynolds K, et al. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of applied physiology*. 1995;78(3):976-89. Epub 1995/03/01. pmid:7775344.
66. Leveritt M, Abernethy PJ. (1999). Acute Effects of High-Intensity Endurance Exercise on Subsequent Resistance Activity. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 1999;13(1):47-51.
67. Donges CE, Duffield R, Guelfi KJ, Smith GC, Adams DR, Edge JA. (2013). Comparative effects of single-mode vs. duration-matched concurrent exercise training on body composition, low-grade inflammation, and glucose regulation in sedentary, overweight, middle-aged men. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*. 2013;38(7):779-88. Epub 2013/08/29. pmid:23980
68. Sale DG, MacDougall JD, Jacobs I, Garner S. (1990). Interaction between concurrent strength and endurance training. *Journal of applied physiology*. 1990;68(1):260-70. Epub 1990/01/01. pmid:2312468.
69. Balabinis CP, Psarakis CH, Moukas M, Vassiliou MP, Behrakis PK. (2003). Early phase changes by concurrent endurance and strength training. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2003;17(2):393-401. Epub 2003/05/14. pmid:12741884.
70. de Souza EO, Tricoli V, Roschel H, Brum PC, Bacurau AV, Ferreira JC, et al. (2013). Molecular adaptations to concurrent training. *International journal of sports medicine*. 2013;34(3):207-13. pmid:23044732.
71. Volpe SL, Walberg-Rankin J, Rodman KW, Sebolt DR. (1993). The effect of endurance running on training adaptations in women participating in a weight lifting program. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 1993;7(2):101-7.
72. Tsitkanou S, Spengos K, Stasinaki AN, Zaras N, Bogdanis G, Papadimas G, et al. (2017). Effects of high-intensity interval cycling performed after resistance training on muscle strength and hypertrophy. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2017;27(11):1317-27. Epub 2016/09/24. pmid:27659479.
73. Mikkola J, Rusko H, Izquierdo M, Gorostiaga EM, Hakkinen K. (2012). Neuromuscular and cardiovascular adaptations during concurrent strength and endurance training in untrained men. *International journal of sports medicine*. 2012;33(9):702-10. Epub 2012/06/19. pmid:22706947.
74. Gravelle BL, Blessing DL. (2000). Physiological adaptation in women concurrently training for strength and endurance. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2000;14(1):5-13.
75. Karavirta L, Hakkinen A, Sillanpaa E, Garcia-Lopez D, Kauhanen A, Haapasaari A, et al. (2011). Effects of combined endurance and strength training on muscle strength, power and hypertrophy in 40-67-year-old men. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2011;21(3):402-11. Epub 2009/12/25. pmid:20030775.
76. Hickson RC. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. (1980). *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1980;45(2-3):255-63. Epub 1980/01/01. pmid:7193134.
77. Izquierdo M, Hakkinen K, Ibanez J, Kraemer WJ, Gorostiaga EM. (2005). Effects of combined resistance and cardiovascular training on strength, power, muscle cross-sectional area, and endurance markers in middle-aged men. *European journal of applied physiology*. 2005;94(1-2):70-5. Epub 2004/12/24. pmid:15616847.

78. Yanci J, Iturri J, Castillo D, Pardeiro M, Nakamura FY. (2019). Influence of warm-up duration on perceived exertion and subsequent physical performance of soccer players. *Biol Sport*. 2019;36(2):125-31. Epub 2019/06/22. pmid:31223189.
79. Sabag A, Najafi A, Michael S, Esgin T, Halaki M, Hackett D. (2018). The compatibility of concurrent high intensity interval training and resistance training for muscular strength and hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *Journal of sports sciences*. 2018;36(21):2472-83. Epub 2018/04/17. pmid:29658408.
80. Duchateau J, Semmler JG, Enoka RM. (2006). Training adaptations in the behavior of human motor units. *Journal of applied physiology*. 2006;101(6):1766-75. Epub 2006/06/24. pmid:16794023.
81. Gergley JC. (2009). Comparison of two lower-body modes of endurance training on lower-body strength development while concurrently training. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2009;23(3):979-87. Epub 2009/04/24. pmid:19387377.
82. Morton RW, Murphy KT, McKellar SR, Schoenfeld BJ, Henselmans M, Helms E, et al. (2018). A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. *British journal of sports medicine*. 2018;52(6):376-84. Epub 2017/07/13. pmid:28698222.
83. Ghahramanloo E, Midgley AW, Bentley DJ. (2009). The effect of concurrent training on blood lipid profile and anthropometrical characteristics of previously untrained men. *Journal of physical activity & health*. 2009;6(6):760-6. Epub 2010/01/28. pmid:20101919
84. Drummond MJ, Vehrs PR, Schaalle GB, Parcell AC. (2005). Aerobic and resistance exercise sequence affects excess postexercise oxygen consumption. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2005;19(2):332-7. Epub 2005/05/21. pmid:15903371.
85. Taipale RS, Mikkola J, Nummela AT, Sorvisto J, Nyman K, Kyrolainen H, et al. (2014). Combined strength and endurance session order: differences in force production and oxygen uptake. *International journal of sports physiology and performance*. 2015;10(4):418-25. Epub 2014/10/14. pmid:25310023.
86. Goto K, Ishii N, Sugihara S, Yoshioka T, Takamatsu K. (2007). Effects of resistance exercise on lipolysis during subsequent submaximal exercise. *Medicine and science in sports and exercise*. 2007;39(2):308-15. Epub 2007/02/06. pmid:17277595.
87. Kang J, Rashti SL, Tranchina CP, Ratamess NA, Faigenbaum AD, Hoffman JR. (2009). Effect of preceding resistance exercise on metabolism during subsequent aerobic session. *European journal of applied physiology*. 2009;107(1):43-50. Epub 2009/06/09. pmid:19504118.
88. Ferrari R, Alberton C, Pinto S, Cadore E, Pinto R, Kruel LF. (2018). Oxygen consumption during concurrent training: influence of intra-session exercise sequence and aerobic exercise modality. *Biol Sport*. 2018;35(3):247-52. Epub 08/27. pmid:30449942.
89. Vilacxa Alves J, Saavedra F, Simao R, Novaes J, Rhea MR, Green D, et al. (2012). Does aerobic and strength exercise sequence in the same session affect the oxygen uptake during and postexercise? *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2012;26(7):1872-8. Epub 2011/10/12. pmid:21986689
90. Oliveira NL, Oliveira J. (2011). Excess postexercise oxygen consumption is unaffected by the resistance and aerobic exercise order in an exercise session. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2011;25(10):2843-50. Epub 2011/09/01. pmid:21878824.
91. Bartlett JD, Hatfield M, Parker BB, Roberts LA, Minahan C, Morton JP, et al. (2019). DXA-derived estimates of energy balance and its relationship with changes in body composition across a season in team sport athletes. *European journal of sport science*. 2019;1-9. Epub 2019/09/19. pmid:31526240.
92. de Jonge L, DeLany JP, Nguyen T, Howard J, Hadley EC, Redman LM, et al. (2007). Validation study of energy expenditure and intake during calorie restriction using doubly labeled water and changes in body composition. *The American journal of clinical nutrition*. 2007;85(1):73-9. Epub 2007/01/09. pmid:17209180.
93. Dulloo AG, Jacquet J. (1999). The control of partitioning between protein and fat during human starvation: its internal determinants and biological significance. *The British journal of nutrition*. 1999;82(5):339-56. Epub 2000/02/16. pmid:10673906.
94. Doma K, Deakin GB, Bentley DJ. (2017). Implications of Impaired Endurance Performance following Single Bouts of Resistance Training: An Alternate Concurrent Training Perspective. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2017;47(11):2187-200. Epub 2017/07/14. pmid:28702901.
95. Doma K, Deakin GB, Schumann M, Bentley DJ. (2019). Training Considerations for Optimising Endurance Development: An Alternate Concurrent Training Perspective. *Sports medicine (Auckland, NZ)*. 2019;49(5):669-82. Epub 2019/03/09. pmid:30847824.
96. Dudley GA, Djamil R. (1985). Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *Journal of applied physiology*. 1985;59(5):1446-51. Epub 1985/11/01. pmid:4066574.
97. Bishop DJ, Bartlett J, Fyfe J, Lee M. (2019). Methodological Considerations for Concurrent Training. In: Schumann M, Rønnestad BR, editors. *Concurrent Aerobic and Strength Training*. Cham: Springer International Publishing; 2019. p. 183-96.
98. Jones TW, Howatson G, Russell M, French DN. (2013). Performance and neuromuscular adaptations following differing ratios of concurrent strength and endurance training. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2013;27(12):3342-51. pmid:24270456
99. Coffey VG, Shield A, Canny BJ, Carey KA, Cameron-Smith D, Hawley JA. (2005). Interaction of contractile activity and training history on mRNA abundance in skeletal muscle from trained athletes. *American journal of physiology Endocrinology and metabolism*. 2006;290(5):E849-55. Epub 2005/12/13. pmid:16338907.
100. Coffey VG, Zhong Z, Shield A, Canny BJ, Chibalin AV, Zierath JR, et al. (2006). Early signaling responses to divergent exercise stimuli in skeletal muscle from well-trained humans. *FASEB journal: official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*. 2006;20(1):190-2. Epub 2005/11/04. pmid:16267123.
101. Vissing K, McGee SL, Farup J, Kjølhed T, Vendelbo MH, Jessen N. (2013). Differentiated mTOR but not AMPK signaling after strength vs endurance exercise in training-accustomed individuals. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*.

2013;23(3):355–66. *pmid:23802289*

102. Wilkinson SB, Phillips SM, Atherton PJ, Patel R, Yarasheski KE, Tarnopolsky MA, et al. (2008). Differential effects of resistance and endurance exercise in the fed state on signalling molecule phosphorylation and protein synthesis in human muscle. *J Physiol.* 2008;586(Pt 15):3701–17. Epub 2008/06/17. *pmid:18556367*
103. Coffey VG, Hawley JA. (2016). Concurrent exercise training: do opposites distract? *J Physiol.* 2016. Epub 2016/08/11. *pmid:27506998*.
104. Hopkins WG. (2015). Individual responses made easy. *Journal of applied physiology.* 2015;118(12):1444–6. Epub 2015/02/14. *pmid:25678695*. PLOS is a nonprofit 501(c)(3) corporation, #C2354500, based in San Francisco, California, US

Cita Original

Lee MJ-C, Ballantyne JK, Chagolla J, Hopkins WG, Fyfe JJ, Phillips SM, et al. (2020) Order of same-day concurrent training influences some indices of power development, but not strength, lean mass, or aerobic fitness in healthy, moderately-active men after 9 weeks of training. *PLoS ONE* 15(5): e0233134. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233134>