Article

Entrenamiento Concurrente de Fuerza y Resistencia: una Revisión Narrativa

Guillermo Peña García-Orea[1,2], Juan R. Heredia Elvar[1,2], Julián Aguilera Campillos[1], Marzo Edir Da Silva Grigoletto[3] y Sebastián Del Rosso[4]

[1]*Instituto Internacional de Ejercicio Físico y Salud – IICEFS (España)*
[2]*Facultad de Ciencias de la Salud – Grado en Ciencias de la Actividad Física y Deporte. Universidad Isabel I (España)*
[3]*Universidad Federal de Sergipe*
[4]*CenINH. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)*

RESUMEN

Una baja aptitud cardiorrespiratoria y neuromuscular se asocian con un aumento de la mortalidad por cualquier causa. Con el fin de contrarrestar diversos desórdenes que impactan en la capacidad funcional y salud metabólica, y ayudar así en la prevención y tratamiento de numerosas enfermedades durante el transcurso de la vida, las recomendaciones internacionales sobre ejercicio físico sugieren la práctica de ambos tipos de entrenamiento. Sin embargo, aunque estas dos capacidades físicas son importantes tanto para el rendimiento físico de muchos deportes como para el mantenimiento general de la salud, a menudo dichas recomendaciones pasan por alto las posibles incompatibilidades del entrenamiento cardiovascular y de fuerza de forma concurrente. Muchos son los condicionantes y razones que pueden explicar la diversidad de resultados encontrados en la literatura científica sobre ello, tanto en poblaciones deportistas recreacionales como de rendimiento. Además, el orden en la secuencia de la realización de ambos entrenamientos en la misma sesión es un tema de debate abierto. Los ajustados calendarios y los numerosos objetivos de sujetos deportistas, o la baja disponibilidad de tiempo para el cumplimiento y adhesión al programa de entrenamiento de otras poblaciones, son causas frecuentemente esgrimidas para hacer coincidir el entrenamiento de la fuerza y la resistencia en la misma sesión. Esto hace necesario encontrar estrategias de entrenamiento que ahorren tiempo y requieran menores frecuencias de entrenamiento semanal. Todo ello hace que sea primordial comprender la interrelación de la aplicación de estímulos concurrentes de entrenamiento sobre los distintos sistemas fisiológicos. Asimismo, poder establecer estrategias de integración del entrenamiento concurrente más efectivas y menos incompatibles puede ayudar en la toma de decisiones.

Palabras Clave: adaptaciones, interferencia, combinado

1. INTRODUCCIÓN

La combinación del entrenamiento de la fuerza y la resistencia en la misma sesión (intra-sesión), en el mismo día (inter-sesión), o incluso, en días alternos (intra-microciclo), se conoce como entrenamiento concurrente, entrenamiento combinado, entrenamiento simultáneo, entrenamiento concomitante, o entrenamiento multicomponente. Con esta combinación de estímulos de entrenamiento se pretende estimular simultáneamente adaptaciones asociadas a ambos tipos de entrenamiento, una necesidad a menudo forzada por la falta de tiempo disponible para realizar cada entrenamiento por separado. En otras ocasiones los objetivos pueden ser de otro tipo, como por ejemplo inducir un alto gasto energético total,

aumentar la pérdida de peso graso, etc.

La realidad cotidiana, en especial en el ámbito de la salud, es que las personas se ven obligadas por falta de tiempo a combinar o hacer coincidir en las mismas sesiones de entrenamiento ambos contenidos: la fuerza muscular y la resistencia cardiorrespiratoria. Y las preguntas que habitualmente se derivan de esta situación son del tipo: ¿Se puede mejorar conjuntamente la fuerza y la resistencia? ¿Cómo interactúan ambos tipos de entrenamiento de forma combinada? ¿Se da un efecto reducido, divergente o aditivo con el entrenamiento concurrente para cada cualidad? ¿Qué se puede hacer para simultanear o integrar ambos tipos de entrenamiento provocando las mínimas interferencias o detrimentos de cada una?.

En el contexto deportivo todas las especialidades, dependiendo de su naturaleza, necesitan desarrollar un mínimo de fuerza y resistencia para alcanzar el máximo rendimiento. Así, según González-Badillo y Serna (2002) cuando el resultado deportivo dependa claramente de la fuerza (deportes de corta duración y alta aplicación de fuerza con acciones aisladas o diversas continuas pero intermitentes), lo más prudente será no entrenar la resistencia o hacerlo de una manera muy específica, pero cuando el resultado deportivo depende claramente de la resistencia (deportes con acciones cíclicas de media-larga duración) el entrenamiento de la fuerza puede desempeñar un papel relevante para la consecución del mejor rendimiento.

Por otro lado, desde el punto de vista de la salud es bien conocido que un baja aptitud cardiorrespiratoria y neuromuscular se asocian con un aumento de la mortalidad por cualquier causa (Kodama et al., 2009; Metter, Talbot, Schrager, Schrager & Conwit, 2002; Volaklis, Halle & Meisinger, 2015; Hupin et al., 2015). Con el fin de contrarrestar diversos desórdenes que impactan en la capacidad funcional y salud metabólica, y ayudar así en la prevención y tratamiento de numerosas enfermedades durante el transcurso de la vida, las recomendaciones internacionales sobre ejercicio físico sugieren la práctica de ambos tipos de entrenamiento (American College of Sports Medicine, 2011).

2. ANÁLISIS DE LA LITERATURA CIENTÍFICA

Para poder analizar en profundidad la verdadera interrelación del entrenamiento combinado, se deben conocer las respuestas fisiológicas agudas que acontecen durante e inmediatamente después de la aplicación de los estímulos concurrentes sobre los distintos sistemas fisiológicos, tales como el endocrino (hormona de crecimiento, testosterona, IGF-1, cortisol, etc.) y el neuromuscular (producción de fuerza-potencia, fuerza explosiva, y activación muscular), e incluso, a nivel biomolecular, metabólico o sobre otros aspectos como el gasto energético total o el consumo de oxígeno postejercicio.

Asimismo, se deben esclarecer los adaptaciones generadas a medio-largo plazo que podrían favorecerse o interferirse por el efecto acumulativo de entrenamientos concurrentes sobre las ganancias de fuerza máxima y potencia, fuerza explosiva, hipertrofia, o cambios en la composición corporal, por poner algunos ejemplos, pero también sobre factores centrales cardiovasculares (consumo máximo de oxígeno) o de otro tipo (umbral anaeróbico, economía o eficiencia mecánica, marcadores inflamatorios, marcadores inmunológicos, marcadores moleculares, etc.).

Pero la comparación de los resultados entre los distintos estudios de intervención sobre este tópico es compleja, y a menudo contradictoria e inconsistente. Ello es debido a la gran variabilidad de los factores o variables influyentes en los estudios y sus resultados, y entre los que destacan:

1) **Características de la muestra de población de estudio.** En cualquier estudio de intervención las características como el tamaño (número), la edad y la homogeneidad de la muestra pueden se determinantes. En el caso del entrenamiento concurrente, la experiencia o nivel inicial de entrenamiento/rendimiento es una característica determinante que puede condicionar las adaptaciones producidas por el entrenamiento concurrente. De este modo, encontramos habitualmente que los adultos mayores, sedentarios, desentrenados o con patologías a menudo mejoran ambas cualidades con frecuencias de entrenamientos inferiores a 5 sesiones a la semana (Izquierdo, Häkkinen, Ibánez, Kraemer & Gorostiaga, 2005; Cadore & Izquierdo, 2013). Asimismo, sujetos poco o moderadamente activos mejoran también ambas cualidades durante las primeras semanas. Sin embargo, sujetos altamente activos o entrenados suelen ver inhibido el desarrollo máximo de la fuerza. Igualmente, la edad y género de los sujetos puede también afectar a las respuestas adaptativas provocadas por el entrenamiento concurrente.

2) **Duración del estudio.** La posible interferencia entre las adaptaciones producidas por ambos tipos de entrenamientos parecen suceder con entrenamientos prolongados en el tiempo o con altas frecuencias de entrenamiento por microciclo (>3 sesiones a la semana). En general, en los estudios en los que la frecuencia de entrenamiento no excede de 3 días a la semana, se observan incrementos de la fuerza máxima durante períodos de entrenamiento concurrente entre 8 y 16

semanas consecutivas (Häkkinen et al., 2003; Glowacki et al. 2004; Izquierdo-Gabarren et al., 2010, Wilson et al., 2012). No obstante, son pocas las investigaciones realizadas a más largo plazo que permitan conocer las interacciones del entrenamiento concurrente sobre el desarrollo de la fuerza y otro tipo de respuestas (Schumann et al. 2014; Eklund et al., 2015), y que además utilicen y comparecen distintas poblaciones de estudio.

3) **Características de los entrenamientos de fuerza y resistencia.** La diversidad e inconsistencia de los protocolos de intervención de fuerza y/o resistencia utilizados en los estudios sobre entrenamiento combinado es amplia. Los efectos de cada entrenamiento estarán fuertemente condicionados por el propio protocolo experimental utilizado, es decir, por la manipulación de los componentes o parámetros que definen la dosis del estímulo aplicado (volumen, intensidad, densidad, frecuencia, metodología, etc.), y por supuesto por la forma de combinar o secuenciar los entrenamientos de cada capacidad.

4) **Diseño experimental del estudio.** Aunque la mayoría de estudios utilicen grupos experimentales específicos (fuerza, resistencia, y fuerza + resistencia o resistencia + fuerza), no todos los ensayos han utilizado un grupo que entrenara una capacidad a solas (fuerza o resistencia) para poder comparar los resultados obtenidos con grupos experimentales que entrenaran de forma concurrente ambas capacidades y/o con distinta secuencia en el orden del entrenamiento combinado. También es importante diferenciar entre los estudios que tratan de comparar resultados de entrenamientos concurrentes muy próximos en el tiempo (por ejemplo, intra-sesión) de aquellos entrenamientos concurrentes que entrenan cada capacidad en momentos menos próximos (por ejemplo, a las 6 o 12 horas).

5) **Musculatura involucrada en el entrenamiento.** Las regiones musculares involucradas en ambos tipos de entrenamientos también son un aspecto importante, ya que la mayoría de los estudios realizados utilizan entrenamientos concurrentes que sólo involucran a las extremidades inferiores. Sin embargo, existen menos datos (Sporer & Wenger, 2003; Tan, Coburn, Brown & Judelson, 2014) respecto al hecho de que realizar entrenamientos concurrentes con las extremidades superiores pudiera generar interferencias del mismo modo que sucede con las extremidades inferiores.

6) **Modalidad de ejercicio de resistencia.** También puede suceder que distintas modalidades de ejercicio de resistencia no supongan la misma demanda muscular, fatiga residual y daño muscular generado en la musculatura involucrada (i.e.: carrera versus ciclismo), y por tanto tampoco los efectos ocasionados por su combinación con el entrenamiento de fuerza.

7) **Métodos y procedimientos para la valoración de los resultados.** Los procedimientos para valorar las distintas manifestaciones de la fuerza son numerosos, más o menos válidos y fiables, y a menudo no comparables entre sí (1RM, fuerza explosiva, potencia, fuerza isométrica máxima voluntaria, sección transversal del músculo, etc.). Igualmente, lo son los métodos y pruebas para valorar los efectos del entrenamiento sobre la aptitud cardiorrespiratoria a través de diferentes indicadores (consumo máximo de oxígeno, umbrales, velocidad, tiempo en recorrer una distancia determinada, etc.).

Tabla 1. *Complejidad de variables combinables en el entrenamiento concurrente.*

Resultado	Sujetos	Orden del Entrenamiento	Status de Entrenamiento	Tipo de Entrenamiento de la Fuerza	Tipo de Entrenamiento de la Resistencia
Fuerza	Atletas de Fuerza	Fuerza → Resistencia	Elite	Circuito	Continuo de diferentes intensidades
Resistencia	Atletas de Resistencia	Resistencia → Fuerza	Entrenado	Cargas Altas	Interválico
Potencia	Atletas de Deportes Abiertos	En la misma sesión	Amateur	Cargas Bajas	HIIT
Hipertrofia	Adultos Jóvenes	En sesiones separadas	No Entrenado	Pliométrico Balístico	
Rendimiento	Adultos Mayores	El mismo día	Patológico		
Salud		En días diferentes			

3. EL EFECTO O FENÓMENO DE LA INTERFERENCIA DEL ENTRENAMIENTO CONCURRENTE

Cuando al entrenar simultáneamente la fuerza y la resistencia la mejora de la fuerza es inferior a la que se podría esperar con el mismo entrenamiento pero realizado por separado se especula sobre la interferencia del entrenamiento entre ambas capacidades. El doctor Robert C. Hickson fue quien propuso la teoría del fenómeno de la interferencia a partir de una pionera investigación sobre este tópico (Hickson, 1980). Los estudios de Hickson (1980; 1988) mostraron que la mejora de la fuerza, pero no de la resistencia (VO2max.), podía verse comprometida cuando se realizaban de forma concurrente en el mismo día sesiones de entrenamiento de carrera y fuerza de alta frecuencia semanal e intensidad, y que al contrario el entrenamiento de fuerza parecía mejorar el rendimiento en resistencia.

Las causas de interferencia e incompatibilidad entre ambos entrenamientos que suelen argumentarse en la literatura científica son variadas y multifactoriales, y probablemente sinérgicas entre sí. Por una parte se pensó que las adaptaciones musculares a nivel celular que cada entrenamiento producía por separado competían entre sí al resultar contrapuestas o antagónicas, y por tanto no se podía esperar generar adaptaciones metabólicas y morfológicas simultáneamente a ambos entrenamientos (Hawley, 2009; Leveritt, Abernethy, Barry & Logan, 1999) (Tabla 2). Por otro lado se considera que las posibilidades de provocar una sobresolicitación orgánica (fatiga subaguda), que acabe desembocando en un cuadro de sobreentrenamiento (fatiga crónica), por un exceso en la frecuencia, volumen y/o intensidad de entrenamiento, sumado a un tiempo de recuperación inter-sesión insuficiente pueda explicar los efectos de la mencionada interferencia (Leveritt & Abernethy, 1999; Leveritt et al., 1999). A esto hay que sumar que los efectos de la sobresolicitación orgánica pueden verse exacerbados cuando los entrenamientos involucran grandes masas musculares y un exceso de daño muscular, como se ha visto en actividades con contracciones excéntricas repetidas (i.e.: carrera a pie) (Leveritt et al., 1999; Wilson et al., 2012).

De igual modo, a parte de la situación crónica de fatiga y sobresolicitación, también se ha destacado el efecto residual de la fatiga. La fatiga neuromuscular y metabólica residual derivada del trabajo previo de resistencia en la misma sesión puede comprometer la capacidad del sistema neuromuscular de producir la suficiente tensión muscular para el desarrollo máximo de la fuerza (Craig, Lucas, Pohlman & Stelling, 1991; Leveritt et al., 1999). Esto es debido fundamentalmente a deficiencias en el reclutamiento de unidades motrices a altas velocidades durante el entrenamiento de fuerza (Hickson, 1980; Dudley & Djamil, 1985; Häkkinen et al., 2003). Por tanto, el sumatorio de sesiones de entrenamiento de fuerza bajo los efectos de dicha fatiga residual puede producir un descenso del rendimiento de fuerza con el transcurso del tiempo.

Tabla 2. *Adaptaciones musculares del entrenamiento de la fuerza y resistencia (a partir de MacLean et al., 1994; Fleck y Kraemer, 1987; Docherty & Sporer, 2000; Fry, 2004).*

Variable	Entrenamiento de la fuerza	Entrenamiento de la resistencia aeróbica
Densidad y tamaño mitocondrial	↓	↑
Densidad capilar	↓ ≈	↑
Actividad enzimática oxidativa	↓ ≈	↑
Actividad enzimática glucolítica	↑	↓
Tamaño fibras musculares tipo I (ST)	↑	↑ ≈
Tamaño fibras musculares tipo IIx (FT)	↑	↓ ≈
Capacidad contráctil: RFD, velocidad acortamiento fibras tipo II, pico de tensión	↑	↓
Señalización específica de la síntesis proteica	↑	↓ posible inhibición

Los hallazgos científicos han enfatizado repetidamente las adaptaciones biológicas disminuidas cuando un alto volumen de entrenamiento de resistencia y de fuerza se combinan en un período de tiempo largo (más de 7-8 semanas). Parece ser que esta "interferencia" puede ser más pronunciada para la fuerza o potencia, pero en cierta medida también para el desarrollo muscular, pudiendo reducir los efectos positivos del entrenamiento para la aptitud física, la composición corporal y la salud (Izquierdo et al., 2005; Mikkola, Rusko, Izquierdo, Gorostiaga & Häkkinen, 2012).

El meta-análisis de Wilson et al. (2012) sobre las interferencias del entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia aeróbica, con un total de 21 estudios de intervención seleccionados para ello, obtuvo interesantes datos al respecto. Dicho meta-análisis trató de determinar qué componente de la dosis del entrenamiento de la resistencia (modalidad de ejercicio, intensidad, frecuencia semanal, volumen-duración por sesión) era más perjudicial para el desarrollo de la fuerza, y concretamente para cada uno de sus objetivos pretendidos (fuerza máxima, potencia e hipertrofia).

Como era presumible el entrenamiento aislado de la fuerza fue el que mayor tamaño del efecto obtuvo sobre la ganancia de fuerza, potencia e hipertrofia, seguido del entrenamiento concurrente de ambas capacidades, y del entrenamiento a solas de la resistencia en último lugar (figura 1). Específicamente, si bien no hubo diferencias significativas sobre la ganancia de fuerza máxima (1RM) e hipertrofia entre el entrenamiento a solas de la fuerza y el entrenamiento concurrente, sí que las hubo en la mejora de la potencia a favor del entrenamiento exclusivamente de la fuerza. Las pérdidas de potencia que suceden con el entrenamiento concurrente podrían venir dadas por las pérdidas de velocidad o fuerza explosiva en la serie.

En el mencionado meta-análisis también se pudo concluir que la modalidad de ejercicio de resistencia realizada de forma concurrente con el entrenamiento de la fuerza podía explicar y tener un efecto atenuante sobre las ganancias de fuerza e hipertrofia, como ocurre con la carrera, o por el contrario no generar interferencias significativas en este sentido si la modalidad realizada era el ciclismo. Esto puede ser debido entre otras causas al mayor daño muscular producido por las contracciones excéntricas repetidas de la carrera. Asimismo, se identificó una correlación negativa moderada

(interferencia adaptativa) de la frecuencia semanal (–0.26 a –0.35) y duración promedio por sesión (–0.29 a –0.75) del entrenamiento de resistencia con las ganancias de fuerza, potencia e hipertrofia.

Para la pérdida de grasa corporal el entrenamiento concurrente en primer lugar, y el entrenamiento exclusivamente de resistencia a continuación, obtuvieron los mejores resultados, aunque el entrenamiento de fuerza aislado también mejoró significativamente este parámetro. Curiosamente, para la pérdida de grasa corporal el entrenamiento concurrente realizado con la carrera obtuvo la mayor magnitud del efecto de los tres -aunque las diferencias no fueran significativas- y en especial cuando se realizaban entrenamientos de alta intensidad cardiovascular (>80% FC Reserva).

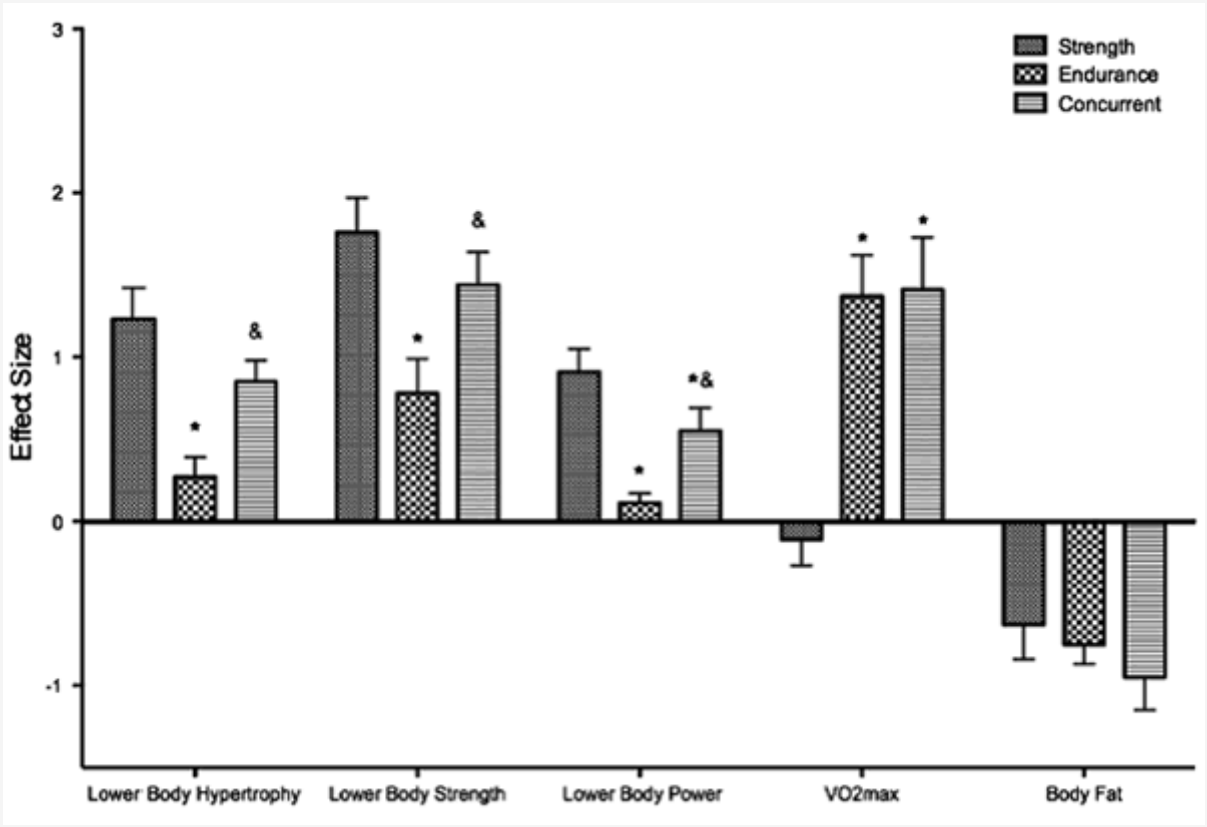


Figura 1. *Efecto global del entrenamiento de fuerza, resistencia y concurrente sobre la fuerza, hipertrofia, y potencia del tren inferior, y sobre el VO2max. y grasa corporal (Wilson et al., 2012).*

4. EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO CONCURRENTE

4.1. Efectos agudos del entrenamiento concurrente sobre la respuesta hormonal

En los últimos años han surgido numerosos estudios que centran la atención sobre la respuesta hormonal del entrenamiento concurrente atendiendo al orden en la secuencia de capacidades intra-sesión (Rosa et al., 2015; Rezaee, Kahrizi & Hedayati, 2014; Schumann et al. 2013, 2014, 2015; Taipale & Häkkinen, 2013; Cadore et al., 2012; Eklund et al., 2015). Otros estudios lo han hecho comparando el entrenamiento concurrente en la misma sesión con el entrenamiento a solas de la fuerza y la resistencia (Ferdosi & Asad, 2012; Akbari, Mojtahedi, Mohammad, Movahedi & Fakhreddin, 2012; Mirghani, Agha-Alinejad, Azarbayjani, Mazidi & Mirghani, 2014). A partir de los resultados obtenidos algunos de estos estudios han tratado inferir, desde la respuesta hormonal, el potencial adaptativo sobre los cambios de composición corporal o mejora de la función neuromuscular.

Por ejemplo, Taipale y Häkkinen (2013) encontraron diferencias significativas en la respuesta hormonal post-ejercicio y durante la recuperación entre hombres y mujeres ante las diferentes combinaciones del entrenamiento concurrente. Según estos autores, dichas respuestas sugieren que la realización del entrenamiento de la fuerza antes que el entrenamiento de

resistencia es un estímulo más potente para las respuestas hormonales, especialmente en los hombres, que la combinación contraria. Otros estudios posteriores (Schumann et al., 2014; Eklund et al., 2015) confirman estos datos al encontrar una respuesta aguda de la hormona de crecimiento significativamente mayor en el grupo de entrenamiento concurrente que realizó antes la fuerza que la resistencia en la misma sesión durante 24 semanas de intervención.

Otros estudios con sujetos entrenados en fuerza a nivel recreacional (Cadore et al. 2012b) y con deportistas entrenados de forma concurrente en resistencia y fuerza (Rosa et al. 2015) que realizaron entrenamientos de fuerza típicos de hipertrofia en combinación con entrenamientos de resistencia en bicicleta (Cadore et al. 2012b) y de carrera (Rosa et al. 2015) han mostrado un aumento de las concentraciones de testosterona solamente con el orden de la secuencia que comenzaba primero con el ejercicio de resistencia (ciclismo y carrera, respectivamente). Estos autores concluyeron que el entorno hormonal favorable sucedía cuando el ejercicio de resistencia precedía al ejercicio de fuerza.

Interesantemente, algunos estudios con sujetos obesos (Sheikholeslami-Vatani, Siahkouhian, Hakimi & Ali-Mohammadiet, 2015) o con sobrepeso (Rosa, Cruz, Mello, Fortes & Dantas, 2010) se han centrado en el efecto de diferentes secuencias de entrenamiento concurrente sobre la respuesta hormonal -testosterona, cortisol, testosterona/cortisol, leptina- tras periodos prolongados de entrenamiento, sin hallar diferencias significativas entre grupos experimentales en dicha respuesta. Otros estudios simplemente lo han hecho sobre el impacto hormonal de la leptina frente a una única secuencia de entrenamiento observando similares resultados (Emamdost et al., 2014).

Sin embargo, debido a las diferentes características de los protocolos de entrenamiento (semanas de entrenamiento, intensidad, volumen, etc.), de las características de los sujetos (edad, género, experiencia de entrenamiento, composición corporal), y de los procedimientos de medición en cada estudio, entre otros factores, los resultados son variados según la respuesta hormonal analizada (hormona de crecimiento, testosterona, cortisol, IGF-1, leptina), y por tanto no son concluyentes ni extrapolables a todas las situaciones o poblaciones. Además, independientemente de la respuesta hormonal que pudiera favorecer un entorno más o menos anabólico o catabólico según la secuencia en el orden intra-sesión, no se deben establecer relaciones causales entre la respuesta hormonal y la respuesta final provocada sobre la ganancia de fuerza e hipertrofia. De hecho, son muchos otros los factores y respuestas agudas que pueden acontecer simultáneamente y estar condicionando el estímulo final resultante, y por lo tanto la adaptación generada por el efecto global.

4.2. Efectos agudos del entrenamiento concurrente sobre la función neuromuscular

La fatiga residual causada por un estímulo previo puede comprometer la calidad de un estímulo de entrenamiento posterior (Craig et al., 1991), reflejándose en respuestas neuromusculares agudas reducidas y retraso en los cursos temporales de recuperación de una misma sesión combinada de entrenamiento de resistencia y fuerza (Leveritt & Abernethy, 1999; Docherty & Sporer, 2000; Leveritt, MacLaughlin & Abernethy, 2000), comprometiendo así las adaptaciones esperadas a largo plazo. Dicho de otro modo, el entrenamiento de resistencia y fuerza combinado en la misma sesión de entrenamiento podría no permitir la recuperación neuromuscular entre ambas modalidades, lo que llevaría a que el estímulo de entrenamiento realizado en segundo lugar pudiera verse afectado negativamente por la fatiga residual inducida por el estímulo precedente.

En algunos estudios estos efectos adversos se reflejan en un menor rendimiento cuando la resistencia se realizaba inmediatamente después de un entrenamiento de fuerza (Doma & Deakin, 2013), o en una disminución del rendimiento neuromuscular (fuerza máxima isométrica, fuerza explosiva o potencia, activación muscular) realizado inmediatamente después de la carrera o ciclismo intenso (Lepers, Theurel, Hausswirth & Bernard, 2008), todo lo cual posiblemente influya en las adaptaciones fisiológicas al entrenamiento. De hecho, Robineau, Babault, Piscione, Lacome & Bigard (2014) pudieron observar cómo la interferencia sobre el desarrollo de la fuerza, y las mejoras inducidas por el entrenamiento sobre el consumo máximo de oxígeno, depende del intervalo de recuperación entre ambos entrenamiento, debiéndose siempre evitar programar entrenamientos de cada capacidad con menos de 6 horas de separación.

En general, la acumulación de lactato se asocia con un aumento en el músculo y la sangre de hidrogeniones, lo cual se ha relacionado directamente o indirectamente a la fatiga local y disminución del pH. Esto ha sido corroborado por de Souza et al. (2007) quienes llegaron a la conclusión de que la acumulación de metabolitos puede explicar en parte el fenómeno de interferencia aguda durante el entrenamiento combinado.

Cuando la recuperación neuromuscular post-esfuerzo ha sido estudiada - atendiendo a la fuerza máxima isométrica, fuerza explosiva, y potencia - se ha encontrado que la misma podía ser suficiente en sujetos moderadamente activos a las 24 horas siguientes de un entrenamiento concurrente, independientemente de la secuencia del orden de realización intra-sesión de la fuerza y resistencia (Schumann et al., 2013). Del mismo modo, Taipale y Häkkinen (2013) mostraron que la fatiga neuromuscular ocasionada por el entrenamiento concurrente -según la máxima contracción isométrica voluntaria y fuerza explosiva-, e independientemente del orden intra-sesión, afectó más intensamente a hombres que a mujeres entrenados recreacionalmente en resistencia, y se necesitaron hasta 24 horas después del entrenamiento para la recuperación

neuromuscular completa. No obstante, es importante reseñar que en dicho estudio, a la mitad del entrenamiento, las respuestas neuromusculares fueron significativamente menores en los individuos que entrenaron primero la fuerza y luego la resistencia.

No obstante, pese a existir una función sinérgica entre el sistema neuromuscular y hormonal en respuesta aguda al ejercicio, el curso temporal de la recuperación post-ejercicio puede diferir entre variables neuromusculares y endocrinas (Schumann et al., 2013). Si bien la recuperación de la función neuromuscular post-ejercicio suele tener lugar a las 24-48 horas, las concentraciones de testosterona basal pueden permanecer disminuidas durante más de 48 horas tras entrenamientos intensos de la fuerza. Esto indicaría que las medidas de la función neuromuscular podrían no ser suficientes para considerar el verdadero estatus de recuperación orgánica (Schumann et al., 2013).

4.3. Efectos del entrenamiento concurrente sobre las respuestas moleculares

Entre varias teorías propuestas para tratar de explicar las menores adaptaciones neuromusculares tras el entrenamiento concurrente surge una hipótesis relacionada con las respuestas de la señalización molecular (Nader, 2006; Hawley, 2009). Esta hipótesis sugiere que el entrenamiento concurrente puede simultáneamente activar vías intracelulares que compiten entre sí, produciendo una interferencia "molecular" entre las adaptaciones inducidas por el entrenamiento (de Souza et al., 2012). Esto se explica porque los entrenamientos destinados para la mejora de la fuerza aumentan la fosforilación de proteínas seleccionadas de la vía AKt/mTOR, lo que está muy correlacionado con el aumento de la tasa de síntesis de proteínas musculares. El aumento de la actividad mTOR1 resulta en un aumento de la síntesis de proteínas a través de una cascada de rutas de transducción intracelulares activadas por un sinfín de estímulos, incluidos la tensión o sobrecarga mecánica (Philp, Hamilton & Baar, 2011). Sin embargo, el ejercicio de resistencia genera una reducción de las reservas de energía celular (proporción ATP/AMP), lo cual induce la fosforilación de la vía AMPK que inhibe los procesos anabólicos que demandan la degradación del ATP, tal como la síntesis proteica, a la vez que se favorece la degradación de proteínas (Bolster, Crozier, Kimball & Jefferson 2002; Coffey & Hawley, 2007; Nader, 2006). Así, la activación de la vía de señalización AMPK, inducida por el ejercicio de resistencia, activaría el complejo TSC2/Rheb, el cual produciría un efecto inhibitorio sobre la actividad mTOR y la tasa neta de síntesis de proteínas, todo lo cual teóricamente podría reducir en última instancia el efecto del entrenamiento de la fuerza sobre la mejora de la hipertrofia.

No obstante, tales respuestas moleculares/celulares podrían estar condicionadas por el propio protocolo de entrenamiento concurrente utilizado y las características de la población de estudio, entre otros factores. Además, es probable que los cambios de los marcadores moleculares individuales no se correlacionen o predigan los cambios inducidos por el ejercicio sobre la fuerza o la hipertrofia muscular (Fernández-Gonzalo, Lundberg & Tesch, 2013).

En esta línea, la revisión de Hawley (2009) observó que cuando se combinaba el entrenamiento de la fuerza y resistencia se perjudicaba la regulación del comienzo de la traducción a través de la vía de señalización PI3K-AKT-mTOR, y concretamente cuando el entrenamiento de fuerza se realizaba después de la depleción del glucógeno provocada por el ejercicio de resistencia.

Baar (2014) en su revisión expuso una serie de conclusiones y recomendaciones prácticas para maximizar la adaptación al entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia. Entre alguna de estas recomendaciones propuso que el entrenamiento de fuerza debía ser realizado inmediatamente después del entrenamiento aeróbico de baja intensidad para mejorar las adaptaciones aeróbicas sin generar ninguna interferencia molecular sobre las adaptaciones de la fuerza. Asimismo, propuso que cualquier sesión de entrenamiento de la resistencia de alta intensidad debería ser realizada al comienzo del día, para a continuación dar un periodo de recuperación de al menos 3 horas para que la AMPK y la actividad de SIRT1 puedan recuperar los niveles basales antes de realizar el ejercicio de fuerza.

Por su parte, el estudio de de Souza et al. (2012) investigó los efectos crónicos del entrenamiento concurrente sobre las adaptaciones morfológicas (hipertrofia) y moleculares del músculo esquelético (en base a la fosforilación de proteínas seleccionadas como la AMPK y de la vía Akt/mTOR/p70S6K1) en jóvenes sin experiencia en entrenamiento de la fuerza ni práctica regular de ejercicio durante los últimos 6 meses previos al estudio. Los resultados del estudio sugirieron que a pesar de las diferencias en las adaptaciones a nivel molecular entre los distintos regímenes de entrenamiento propuestos en su estudio (hipertrofia versus entrenamiento interválico), el entrenamiento concurrente de bajo volumen no mitigó los incrementos de fuerza e hipertrofia muscular en comparación con el entrenamiento de fuerza a solas. Otros estudios recientes tampoco han podido mostrar ninguna interferencia real sobre las adaptaciones musculares hipertróficas en hombres recreacionalmente activos, pero sin experiencia en entrenamiento de fuerza, al entrenamiento de la fuerza a causa de la activación de la AMPK inducida por el ejercicio de resistencia realizado previamente (Lundberg, Fernández-Gonzalo & Tesch, 2014).

En la revisión de Fyfe, Bishop & Stepto (2014) se confirma que aunque parece que las diversas respuestas de señalización molecular inducidas en el músculo esquelético por el ejercicio de resistencia podrían inhibir las vías de regulación de la síntesis de proteínas y estimular la degradación de las mismas, con los escasos estudios en humanos hasta la fecha no se

han observado tales interferencias moleculares que pudieran explicar un compromiso en la hipertrofia muscular tras el entrenamiento concurrente. Sin embargo, dada la multitud de posibles variables intervinientes en el entrenamiento concurrente y las limitaciones de las evidencias existentes, las posibles funciones de las variables individuales del entrenamiento en la interferencia aguda y crónica no están totalmente aclaradas.

Lo que sí se sabe es que la literatura actual ofrece una serie de posibles mecanismos para explicar la especificidad en la adaptación al entrenamiento en respuesta al ejercicio de fuerza y la resistencia. De hecho, parece que los fenotipos de adaptación divergentes son inducidos a través de la compleja manipulación de numerosas vías de señalización y expresión de genes comunes, poniendo de relieve la complejidad de la adaptación al estímulo del ejercicio. En cualquier caso, combinando las modalidades de ejercicio durante el entrenamiento concurrente probablemente se reduzca la capacidad para la adquisición simultánea de hipertrofia y/o respuestas adaptativas a nivel mitocondrial en comparación con el entrenamiento de un único tipo de ejercicio (Coffey y Hawley, 2007).

4.4. Efectos crónicos del entrenamiento concurrente sobre la pérdida de grasa corporal

Algunos estudios que han comparado la efectividad del entrenamiento concurrente con respecto al entrenamiento de la fuerza o la resistencia a solas para la pérdida de grasa corporal han encontrado reducciones mayores con el entrenamiento combinado de fuerza y resistencia en la misma sesión (Ho, Dhaliwal, Hills & Pal, 2012; Sillanpää et al., 2009; Ghahramanloo, Midgley & Bentley, 2009). Si las mayores reducciones del componente graso inducidas por el entrenamiento concurrente son debidas a un mayor gasto energético -por un mayor volumen de entrenamiento- o por una adaptación específica a dicho entrenamiento permanecen inciertas.

A su vez, estudios recientes que se han centrado en el efecto de diferentes secuencias en el orden de entrenamiento concurrente sobre los cambios de composición corporal en sujetos obesos y no obesos activos han encontrado cambios significativos en la pérdida de grasa corporal total independientemente de la secuencia de capacidades en la sesión (Akbarpour-Beni, 2012; Antunes et al., 2013; Schumann et al, 2014; Sheikholeslami-Vatani et al., 2015). Aun así, Sheikholeslami-Vatani et al. (2015) señalan en su estudio de intervención que pese a que ambas combinaciones de entrenamiento concurrente fueron efectivas para la pérdida de componente graso, la realización del entrenamiento de la fuerza antes que el de resistencia podría resultar más efectiva en relación a la respuesta hormonal y composición corporal.

Por otra parte, un estudio que analizó los efectos del entrenamiento concurrente (fuerza + resistencia) durante 12 semanas sobre marcadores inflamatorios e inmunológicos, medidas antropométricas (porcentaje de grasa, IMC, circunferencias) y aptitud cardiovascular de sujetos obesos y con sobrepeso observó una reducción significativa de todas las medidas antropométricas (Colato et al., 2014); sin embargo, los resultados no fueron comparados con otros grupos experimentales que sólo realizaran fuerza o resistencia o lo hicieran en sesiones distintas.

Otros estudios (Cadore et al., 2012; Banitalebi & Baghanari, 2015) que han valorado el impacto global del entrenamiento concurrente sobre distintos parámetros de la aptitud física y composición corporal en poblaciones de adultos mayores no obesos han encontrado reducciones significativas del porcentaje de grasa corporal total y otras mediciones antropométricas (masa corporal, IMC, índice cintura:cadera) independientemente del orden en la secuencia intra-sesión.

Por lo tanto, y en general, para aquellos sujetos que sólo necesiten ganar pequeñas o moderadas cantidades de masa muscular y fuerza, o mantener el nivel alcanzado, mientras que la pérdida de grasa corporal sea su primer objetivo, el entrenamiento concurrente puede ser una estrategia eficaz (Nader, 2006; Wilson et al., 2012), todo ello independientemente de la secuencia en el orden realizada intra-sesión. A su vez, podría ser que los entrenamientos de resistencia, en concurrencia con los de fuerza, deberían ser de alta intensidad para lograr la máxima pérdida de peso graso (Wilson et al., 2012).

4.5. Efectos crónicos del entrenamiento concurrente sobre el desarrollo de la capacidad aeróbica

En general, la mayoría de adaptaciones cardiorrespiratorias que suceden con el entrenamiento de resistencia a solas no se ven afectadas negativamente por el entrenamiento concurrente con la fuerza (Izquierdo et al. 2004; Karavirta et al. 2009; Holviala et al. 2010, 2012; Sillanpää et al. 2008, 2009; Cadore et al. 2011), y muy al contrario el rendimiento en resistencia puede mejorarse si el entrenamiento de la fuerza añadido es el apropiado (Aagaard & Andersen, 2010; Sedano et al., 2013; Rønnestad, Hansen, Hollan, Ellefsen, 2015). Tampoco parece que el orden en la secuencia de realización de los entrenamientos de cada capacidad en la misma sesión afecten sustancialmente el resultado final sobre el desarrollo de la resistencia, al menos en sujetos sedentarios o moderadamente entrenados (Eklund et al., 2015; Schumann et al., 2014; Chtara et al., 2008).

Así, el entrenamiento concurrente en relación con el entrenamiento de la resistencia a solas no resulta en efectos perjudiciales para la mejora de la capacidad aeróbica (Wilson et al., 2012). De hecho, el entrenamiento de la fuerza puede influir positivamente sobre la mejora del rendimiento de la resistencia al permitir elevar y mantener la fuerza aplicada

durante el esfuerzo. Esto puede suponer un descenso del tiempo para cubrir una distancia de competición por el aumento de la velocidad de desplazamiento, sin cambios en el VO2máx., umbral aeróbico y umbral anaeróbico (Marcinik et al., 1991; Paavolainen, Häkkinen, Hämäläinen, Nummela & Rusko, 1999; Mikkola, Rusko, Nummela, Pollari & Hakkinen, 2007, Mikkola et al., 2011). Aagaard y Andersen (2010) mostraron que deportistas de élite de resistencia que entrenaron la fuerza mejoraron su rendimiento en pruebas de larga (>30 minutos) y corta duración (<15 minutos). Dichos autores concluyeron que el entrenamiento de fuerza puede mejorar el rendimiento en deportes de resistencia por el incremento en la proporción de fibras tipo II y de la fuerza máxima y explosiva.

Las ganancias de fuerza pueden también mejorar el tiempo hasta el agotamiento en esfuerzos aeróbicos por encima del 70% del VO2max. por el retardo de la fatiga generada (Marcinik et al., 1991; Hoff, Helgerud & Wisloff, 1999; Mikkola et al., 2007). Esto se puede explicar por la mejora de la fuerza explosiva y fuerza máxima aplicada ante la misma tarea, pudiéndose reducir la intensidad relativa que cada ciclo de esfuerzo supone para el sujeto vencer la misma resistencia (i.e.: deportes cíclicos como el ciclismo). Otros estudios han podido mostrar que el entrenamiento concurrente de la fuerza puede también mejorar la economía/eficiencia mecánica de la carrera o del ciclismo en sujetos previamente desentrenados o mayores (Hoff et al., 1999; Paavolainen et al., 1999; Millet, Jaouen, Borrani & Candau 2002; Loveless, Weber, Haseler & Schneider, 2005; Cadore et al., 2011) o incluso altamente entrenados en resistencia (Sedano et al., 2013). Esto puede ser debido a realizar el mismo trabajo con menor consumo de oxígeno y/o poder aplicar la misma fuerza con una menor masa muscular, y posiblemente también a una mejor reutilización de la energía elástica en cada zancada (Paavolainen et al., 1999).

Además, algunos estudios realizados con sujetos moderadamente entrenados o adultos mayores han observado que el orden en la secuencia de capacidades entrenadas en sesiones concurrentes no interfiere en el desarrollo de la capacidad aeróbica y rendimiento (Cadore et al., 2012b; Schumann et al., 2014; Banitalebi & Baghanari, 2015), aunque también han habido resultados contradictorios al respecto (Chtara et al., 2005). Por otro lado, otros estudios también han podido observar un menor desarrollo de la resistencia mediante el entrenamiento concurrente en la misma sesión en comparación con el entrenamiento por separado o en días alternos de cada capacidad (Nelson, Arnall, Loy, Silvester & Conlee, 1990; Hawley 2009, Mikkola et al. 2007, Chilibeck, Syrotuik & Bell, 2002, Robineau et al. 2014; Schumann, Yli-Peltola, Abbiss, & Häkkinen, 2015b). Schumann et al. (2015c) comprobaron, en sujetos moderadamente activos, que el entrenamiento de la fuerza y resistencia realizado en días alternos generó el doble de mejoras en el consumo de oxígeno que con el entrenamiento combinado intra-sesión, independientemente de la secuencia en el orden de las capacidades (no obstante, el grupo que entrenó en días alternos realizó una frecuencia de entrenamiento semanal de la resistencia mayor que los grupos de entrenamiento concurrente). Esto puede ser debido a que la realización de ambos entrenamientos en la misma sesión concurrente puede conllevar un estado de sobreentrenamiento y sobresolicitación mayor que cuando ambos entrenamientos se realizan por separado en días alternos en sujetos poco entrenados, permitiendo así la recuperación suficiente (Schumann et al., 2015b).

Sin embargo, en la mayoría de los estudios este efecto antagónico o atenuante no sucede o es mínimo, dependiendo fundamentalmente de las características de los sujetos (edad, género y experiencia de entrenamiento) así como del entrenamiento realizado (frecuencia, volumen, intensidad, modalidad de ejercicio) (McCarthy, Agre, Graf, Pozniak & Vailas, 1995; Sillanpää et al., 2008, 2009; Cadore & Izquierdo, 2013). Las diferencias entre los resultados de los estudios pueden atribuirse, entre otras cuestiones, al propio protocolo de entrenamiento y la magnitud de las variables que definen el estímulo entrenante (frecuencia, duración e intensidad, fundamentalmente). Por lo tanto, la realización del entrenamiento de fuerza antes que el de resistencia en la misma sesión no suele comprometer las adaptaciones de la función cardiorrespiratoria a corto o largo plazo (Schumann et a., 2015b). Por otra parte, incluso una gran magnitud de estrés metabólico inducido por el ejercicio podría producir aumentos en la capacidad cardiorrespiratoria (consumo de oxígeno máximo y sub-máximo) si se proporcionara suficiente recuperación (Schumann et a., 2015b).

No obstante, también existen algunos estudios que indican una mayor activación de PGC-1α realizando el trabajo de fuerza tras el de resistencia (Wang, Mascher, Psilander, Blomstrand & Sahlin, 2011), lo que muestra que existen argumentos en contra y a favor del orden de la secuencia en la sesión de entrenamiento concurrente según cada contexto, objetivo y población de estudio.

4.6. Efectos crónicos del entrenamiento concurrente sobre el desarrollo de la fuerza e hipertrofia

Por lo general, la literatura científica concluye que el entrenamiento concurrente, en comparación con el entrenamiento de fuerza a solas, suele conllevar una reducción, atenuación o inhibición en las ganancias de fuerza-potencia, fuerza explosiva y/o hipertrofia en la misma musculatura involucrada en ambos tipos de entrenamiento (Hickson, 1980, 1988; Dudley & Djamil, 1985; Hennessy & Watson, 1994; Kraemer et al., 1995; Hunter, Demment & Miller, 1987; Leveritt & Abernethy, 1999; Bell, Syrotuik, Martin, Burnham, & Quinney, 2000, Doherty & Sporer 2000, Häkkinen et al., 2003; Karavirta et al. 2009; Izquierdo-Gabarren et al., 2010; Chtara et al., 2008; Rønnestad et al., 2012). Al mismo tiempo, es importante reconocer que la fuerza es más necesaria y positiva para la mejora de la resistencia que al revés, y que la ganancia de

fuerza es menor en los músculos implicados en ambos tipos de entrenamiento (Hunter et al., 1987).

El compromiso, o la menor magnitud, en el desarrollo de la fuerza (especialmente de la tasa de producción de fuerza en la unidad de tiempo) e hipertrofia por el entrenamiento concurrente puede ser debido, según Nader (2006), a la naturaleza divergente de los mecanismos específicos fisiológicos, biomecánicos y moleculares de este entrenamiento, por lo que la adaptación máxima y simultánea a ambos tipos de entrenamiento resulta compleja.

Sin embargo, cuando los estudios no se centran en comparar entrenamientos concurrentes con entrenamientos a solas o por separado de la fuerza, y sólo lo hacen comparando distinto orden en la secuencia del entrenamiento concurrente intra-sesión, los resultados parecen ser diferentes. Un estudio (Eklund et al., 2015) realizado con mujeres desentrenadas pudo mostrar que las ganancias de fuerza (1RM) e hipertrofia tras 24 semanas de entrenamiento concurrente fueron similares independientemente del orden en la secuencia intra-sesión de la fuerza y resistencia, a pesar de la mayor respuesta hormonal (GH) con la realización de la fuerza en primer lugar. Similares resultados fueron hallados en el estudio del Schumann et al. (2014) sobre la masa muscular, la fuerza y potencia aeróbica en hombres jóvenes moderadamente activos. Wilhelm et al. (2014) tampoco encontraron diferencias en las ganancias de fuerza muscular y capacidad funcional en adultos mayores desentrenados independientemente del orden intra-sesión en la secuencia del entrenamiento concurrente. Sin embargo, estos resultados pueden venir condicionados por las características de los sujetos utilizados en dichos estudios (edad, historial de entrenamiento), por lo que no deberían ser extrapolados a otras poblaciones distintas donde el orden de la secuencia podría quizás tener consecuencias diferentes.

5. INTEGRACIÓN ESTRATÉGICA DE LAS VARIABLES DEL ENTRENAMIENTO CONCURRENTE

Diversos estudios han identificado diferentes factores que pueden influir en el nivel o grado de interferencia generada por el entrenamiento concurrente. Estos factores incluyen el nivel inicial de entrenamiento de los sujetos, la modalidad de ejercicio, el volumen, la intensidad, la frecuencia de entrenamiento, la distribución de las sesiones y las variables dependientes que se investigan (García-Pallarés & Izquierdo, 2011). A partir de este tipo de estudios, se pueden establecer estrategias para integrar el entrenamiento concurrente en la misma sesión (o en periodos de tiempo concretos) de manera que se puedan evitar o minimizar significativamente las interferencias entre sí y permitir alcanzar un efecto global positivo.

Algunas de estas estrategias se derivan de preguntas que el técnico o entrenador suele plantearse:

¿Qué capacidad entrenar primero en las sesiones concurrentes?: Orden óptimo de la secuencia de ejercicio concurrente intra-sesión.

¿Qué características deben tener los diferentes estímulos aplicados para cada capacidad física?: Combinación óptima de componentes de la dosis de entrenamiento.

¿Cuánto tiempo de recuperación (inter-sesión) debe transcurrir entre entrenamientos concurrentes que entrenan cada capacidad?: Densidad inter-sesión o duración de la recuperación entre las sesiones de entrenamiento para cada capacidad.

5.1. Orden óptimo de la secuencia de ejercicio concurrente intra-sesión

Un estudio de Davitt, Pellegrino, Schanzer, Tjionas & Arent (2014) sobre los efectos del orden de la secuencia de entrenamientos concurrentes con mujeres jóvenes desentrenadas durante 8 semanas (4 veces por semana) observó que las mejoras en fuerza, VO2max., y masa corporal magra fueron independientes del orden en el que se realizaron los entrenamientos de fuerza (3 x 8-12 repeticiones con 5-6 ejercicios al 90-100% de 10RM) y resistencia (30 minutos al 70-80% FC Reserva). Por lo tanto, este estudio concluye que para aquellos sujetos desentrenados, el orden en la secuencia de entrenamiento en las sesiones concurrentes debe basarse en la preferencia personal con el fin de facilitar la adherencia. Otros estudios recientes también han podido mostrar que las ganancias de fuerza, hipertrofia y potencia aeróbica tras numerosas semanas de entrenamiento concurrente fueron similares independientemente del orden en la secuencia intra-sesión (Eklund et al., 2015; Schumann et al., 2014; Chtara et al., 2008; Collins & Snow, 1993).

Este tipo de resultados indican que el orden de la secuencia de ejercicio en las sesiones de entrenamiento concurrente no parece afectar a las adaptaciones generadas sobre las ganancias de fuerza, hipertrofia y resistencia en sujetos jóvenes moderadamente activos, adultos mayores, o sujetos desentrenados, al menos cuando la frecuencia y volumen de entrenamiento sea adecuado y moderado.

Sin embargo, en kayakistas de élite mundial se obtuvieron mayores mejoras de la potencia aeróbica, fuerza máxima y potencia muscular ubicando las sesiones de fuerza antes que las de resistencia o, cuando no fue posible, separando ambos tipos de entrenamiento entre sí al menos 8 horas para permitir la recuperación suficiente (García-Pallarés, Sánchez-Medina, Carrasco, Díaz & Izquierdo, 2009). La ubicación del ejercicio de resistencia antes del ejercicio de fuerza tiene el

potencial de generar una fatiga neuromuscular residual que podría comprometer el máximo desempeño de la producción de fuerza (por la menor activación de fibras tipo II) y el estímulo entrenante final del ejercicio de fuerza (Docherty & Sporer, 2000; Leveritt et al., 2000).

5.2. Combinación óptima de los componentes de la dosis de entrenamiento

5.2.1. Frecuencia semanal y volumen del entrenamiento

La frecuencia de entrenamiento puede desempeñar un papel crítico en las adaptaciones generadas durante el entrenamiento concurrente. Igualmente, el número de semanas al que un sujeto se someta a entrenamientos concurrentes parece también estar relacionado con el nivel de interferencia generado (García-Pallarés & Izquierdo, 2011).

Para lograr adaptaciones óptimas de la fuerza muscular y potencia, así como para minimizar el fenómeno de la interferencia con el entrenamiento de resistencia, no se recomienda realizar una frecuencia de entrenamiento de más de tres sesiones de entrenamiento concurrente por semana (García-Pallarés & Izquierdo, 2011). En los estudios en los que la frecuencia de entrenamiento no excede de 3 días a la semana, se observan incrementos de la fuerza máxima durante períodos de entrenamiento concurrente entre 8 y 16 semanas consecutivas (Häkkinen et al., 2003; Glowacki et al. 2004; Izquierdo-Gabarren et al., 2010), lo cual parece cubrir la realidad de la inmensa mayoría de sujetos que practican ejercicio en el contexto de la salud o practican modalidades deportivas de forma recreacional.

En general, el entrenamiento concurrente que utilice un bajo volumen y frecuencia de sesiones de entrenamiento, es decir, 2-3 veces a la semana, podría no tener efectos inhibidores sobre las adaptaciones neuromusculares y morfológicas, al menos en sujetos poco entrenados (Izquierdo et al., 2005; Mikkola et al., 2012). En cualquier caso, parece existir una correlación negativa entre la frecuencia semanal y duración promedio por sesión del entrenamiento de resistencia con las ganancias de fuerza, potencia e hipertrofia (Wilson et al., 2012). En el meta-análisis de Wilson y colaboradores (2012) se indica que los deportistas deberían evitar hacer coincidir el entrenamiento de fuerza con el ejercicio de resistencia de larga duración (>20-30 minutos) realizado con una frecuencia semanal alta (>3 veces/semana), al menos en aquellos deportes donde las prestaciones de fuerza y fuerza explosiva sean determinantes.

Jones, Howatson, Russell y French (2013) pudieron comprobar que, con diferentes ratios semanales de entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia para la misma musculatura (3 sesiones semanales en todos los casos), las mayores frecuencias de entrenamiento de resistencia generaron el mayor grado de interferencia sobre las ganancias de fuerza y circunferencias de las extremidades tras seis semanas de entrenamiento. Por tanto, según sus autores cuando el objetivo principal del entrenamiento sea conseguir ganancias de fuerza e hipertrofia la frecuencia y volumen de entrenamiento semanal de resistencia debe permanecer bajo.

En relación al volumen de entrenamiento de fuerza, y para maximizar las adaptaciones a dicho entrenamiento y evitar el sobreentrenamiento, el número óptimo de ejercicios y repeticiones durante cada sesión necesita ajustarse individualmente. No obstante, un volumen de entrenamiento de fuerza moderado de 3 a 5 series con 4 a 6 ejercicios específicos y multi-articulares, durante ciclos de entrenamiento de 10-12 semanas, parece ser un estímulo adecuado para el desarrollo de la resistencia óptima en deportistas altamente entrenados (García-Pallarés & Izquierdo, 2011).

5.2.2. Intensidad del entrenamiento de fuerza y resistencia

Un entrenamiento concurrente donde se realice un número moderado de repeticiones de los ejercicios de fuerza sin llegar al fallo muscular o acercarse al mismo (50% o menos del máximo número de repeticiones posibles de realizar por serie) puede proporcionar mayores mejoras de las prestaciones de fuerza que con un entrenamiento de mayor volumen llegando al fallo muscular en atletas altamente entrenados (Izquierdo-Gabarren et al., 2010).

Al respecto de la intensidad, también sabemos que el entrenamiento de la fuerza con orientación neural puede inducir adaptaciones principalmente centrales (mayor reclutamiento, sincronización y frecuencia de estimulación de unidades motrices, menor coactivación antagonista, etc.), y al contrario, el entrenamiento con orientación estructural lo hace principalmente a nivel periférico (incremento de la sección transversal, incremento de enzimas glucolíticas, etc.) (Sale, 1992).

Por su parte, el entrenamiento de la resistencia a alta intensidad (cercano al 95-100% VO2max.) induce también adaptaciones a nivel periférico (muscular), como por ejemplo incrementos en los almacenes de glucógeno muscular, incrementos de la densidad capilar y mitocondrial, e incrementos de enzimas oxidativas. En contraste, las adaptaciones al entrenamiento de la resistencia de baja a moderada intensidad (cercanas al umbral anaeróbico o por debajo) son principalmente de tipo central, como por ejemplo incrementos del volumen sanguíneo, gasto cardiaco y volumen sistólico (Docherty & Sporer, 2000).

Basado en lo anterior, Docherty y Sporer (2000) propusieron un modelo teórico para analizar el fenómeno de la interferencia entre el entrenamiento de la resistencia y la fuerza (figura 2). Este modelo sugiere que la conjunción de objetivos de entrenamiento para el desarrollo de la hipertrofia muscular y entrenamientos para la mejora de la potencia aeróbica máxima deben ser evitados. Esto es debido a que estas dos orientaciones del entrenamiento inducen adaptaciones fisiológicas opuestas a nivel periférico, interferencias las cuales impiden al organismo la óptima adaptación a ambos entrenamientos de forma simultánea. Al contrario, el entrenamiento aeróbico con intensidades inferiores a la potencia aeróbica máxima (75-85% VO2máx), tales como las habitualmente empleadas para mejorar el umbral anaeróbico, induce adaptaciones más centrales que podrían causar mucha menor interferencia adaptativa con el entrenamiento dirigido a la hipertrofia y resistencia muscular (orientación estructural y metabólica). La orientación del entrenamiento de la fuerza viene determinada por los procesos adaptativos neuromusculares principalmente propiciados por el mismo, siendo éstos predominantemente estructurales (hipertróficos), neurales o metabólicos (Heredia et al., 2012).

El citado modelo teórico también predice una menor interferencia cuando al mismo tiempo se entrena para desarrollar la fuerza máxima (orientación neural: 2 a 6 repeticiones) y la potencia aeróbica máxima, debido a que en este caso el estímulo de entrenamiento para aumentar la fuerza se dirige principalmente al sistema nervioso pero sin requerir altas demandas metabólicas a nivel muscular (figura 2 y 3).

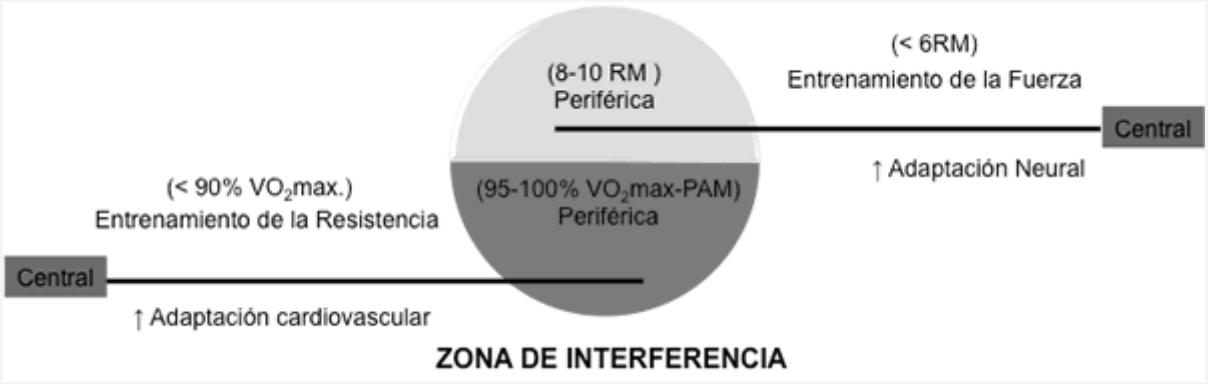


Figura 2. *Modelo de entrenamiento concurrente (Docherty & Sporer, 2000).*

Por tanto, es necesario evitar el desarrollo concurrente de entrenamientos con orientación predominantemente estructural cercanos al fallo muscular (8-10 RM) con entrenamientos de potencia aeróbica de alto estrés metabólico (>90% VO2máx), debido a que ambas intensidades de entrenamiento inducen adaptaciones opuestas sobre los mismos componentes periféricos (García-Pallarés & Izquierdo, 2011). Cuando ambos entrenamientos pretenden provocar adaptaciones a nivel periférico, por lo que demandan intensamente la glucólisis para proporcionar energía durante los esfuerzos, parece ser que el grado de incompatibilidad adaptativa es alto debido a que las adaptaciones musculares antagónicas a nivel metabólico, estructural y molecular compiten entre sí.

Sin embargo, durante un enfoque de entrenamiento concurrente podemos esperar adaptaciones compatibles que produzcan una mucho menor interferencia, y así simultanear entrenamientos, en los siguientes casos (figura 3):

1. Compatibilidad máxima (nula interferencia): Combinación del entrenamiento de resistencia realizado a intensidades moderadas-bajas (próximas al umbral aeróbico) con el entrenamiento de fuerza a intensidades propias de una orientación predominantemente neural (pocas repeticiones por serie sin generar un alto estrés metabólico).

2. Compatibilidad intermedia (baja interferencia): Combinación del entrenamiento de resistencia realizado a intensidades moderadas-bajas (próximas al umbral aeróbico) con el entrenamiento de fuerza con características propias de una orientación predominantemente estructural e importante estrés metabólico.

3. Compatibilidad intermedia (baja interferencia): Combinación del entrenamiento de resistencia realizado a intensidades cercanas a la potencia aeróbica máxima con el entrenamiento de fuerza a intensidades propias de una orientación predominantemente neural (pocas repeticiones por serie sin generar un alto estrés metabólico).

Es importante recordar también, como ya ha sido comentado, que las intensidades utilizadas para el entrenamiento de la fuerza con orientación predominantemente neural en sesiones concurrentes no necesitan ni deben ser realizadas

aproximándose al fallo muscular concéntrico (carácter del esfuerzo máximo), todo lo cual permitirá ejecutar el entrenamiento de resistencia posterior con mayor calidad y facilitará una más rápida recuperación post-entrenamiento.

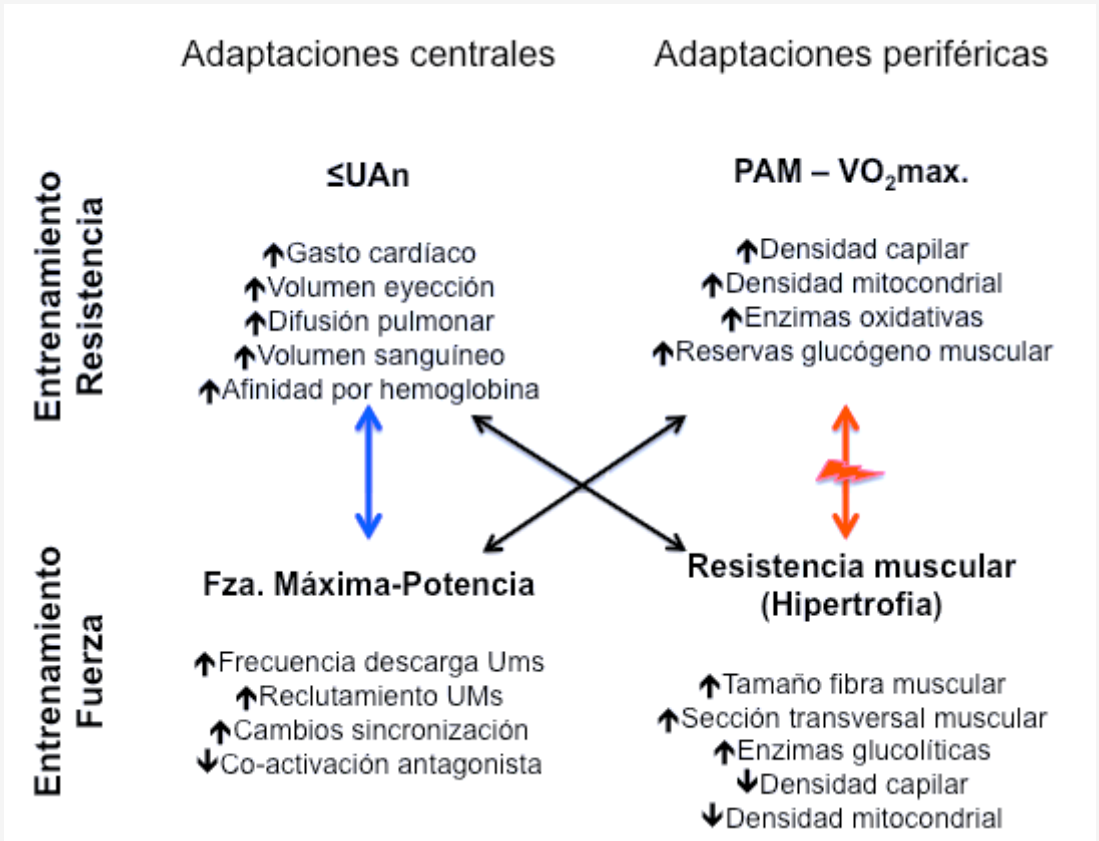


Figura 3. *Óptima combinación de intensidades del entrenamiento combinado de fuerza y resistencia (a partir de Docherty & Sporer, 2000; García-Pallarés & Izquierdo, 2011). UAn= Umbral Anaeróbico; PAM= Potencia aeróbica máxima; VO2max.= consumo máximo de oxígeno.*

5.2.3. Modalidad de ejercicio de entrenamiento de resistencia

La modalidad de ejercicio de resistencia practicado de forma concurrente con el entrenamiento de la fuerza puede tener distintos efectos, siendo la carrera la modalidad que interfiere de forma más significativa sobre las ganancias de la fuerza e hipertrofia en las extremidades inferiores (Wilson et al., 2012). Similares resultados fueron encontrados por Gergley (2009) al comparar los efectos de entrenamientos de la misma duración de carrera versus ciclismo en combinación con entrenamiento de la fuerza en hombres desentrenados, siendo el ciclismo la modalidad de resistencia que menos perjudicó las ganancias de la fuerza máxima.

Por esta razón, algunos investigadores han propuesto realizar el entrenamiento de resistencia con modalidades de remo y/o ciclismo cuando sea posible para reducir el daño muscular inducido asociado a la carrera, la cual tiene un componente excéntrico significativo que podría favorecer la interferencia adaptativa (García-Pallarés & Izquierdo, 2011). Sobre esto mismo Tan, Coburn, Brown & Judelson (2014) comprobaron que para optimizar la calidad de una sesión de entrenamiento de fuerza para las extremidades inferiores, dicho entrenamiento no debería ser precedido por una modalidad de ejercicio aeróbico que involucrara las mismas extremidades. A la vez, los mismos autores mostraron que la calidad de un sesión de entrenamiento de fuerza para las extremidades superiores no se ve afectada si es precedida de un ejercicio aeróbico que implique la musculatura de la parte inferior del cuerpo.

Por su parte, Silva et al. (2012) observaron que en sujetos jóvenes físicamente activos poco entrenados el entrenamiento concurrente realizado dos veces por semana supuso mejoras y adaptaciones neuromusculares similares al grupo que entrenó la fuerza a solas, independientemente de la modalidad (carrera versus ciclo-ergómetro) e intensidad del ejercicio cardiovascular realizado (continuo versus interválico), por tanto sin encontrar interferencia asociada a la modalidad de ejercicio.

5.3. Densidad inter-sesión o duración de la recuperación entre las sesiones de entrenamiento para cada capacidad

El grado de interferencia también dependerá de la magnitud del esfuerzo realizado con el trabajo de resistencia previo y del tiempo de recuperación hasta el entrenamiento de fuerza. La proximidad o separación temporal entre ambos entrenamientos tiende a beneficiar la mejora de la fuerza en comparación con la realización de ambos entrenamientos en el mismo día. Por eso, realizar el entrenamiento de fuerza en días diferentes al entrenamiento de resistencia puede producir un mayor incremento de la fuerza. Lo ideal es separar en la mayor medida posible las sesiones de entrenamiento de fuerza y resistencia cuando se realicen el mismo día, y si es posible realizarlas en días diferentes (González-Badillo y Serna, 2002).

En deportistas bien entrenados, después de una sesión de entrenamiento de la resistencia aeróbica, el rendimiento de la fuerza (número total de repeticiones realizadas) se mantiene significativamente reducido hasta las 8 horas después de la finalización de la sesión de resistencia, indistintamente de si el entrenamiento es interválico de alta intensidad o ejercicio aeróbico continuo submáximo (Sporer & Wenger, 2003). Por ello, la fatiga residual causada por una sesión de resistencia previa podría reducir la eficacia de las sesiones de entrenamiento de fuerza posteriores. Obviamente, todo esto afectará significativamente si sólo si la fatiga local se produce en los mismos grupos musculares implicados en ambos tipos de entrenamiento (de Souza et al., 2007).

Robineau et al. (2014) pudieron observar que 6 horas de separación entre los entrenamientos de cada capacidad fue el intervalo de tiempo mínimo recomendado para obtener respuestas adaptativas óptimas centrales y neuromusculares, aunque 24 horas de separación fueron preferibles para la mejor recuperación.

No obstante, este tipo de resultados podrían estar condicionados por el historial de entrenamiento de los sujetos -deportistas de fuerza versus resistencia- como algunos estudios han sugerido (Denadai et al., 2007), así como por el volumen, intensidad y modalidad de ejercicio de resistencia realizado previamente.

CONCLUSIONES

• En general, la fuerza es la capacidad más claramente perjudicada cuando se entrena la fuerza y resistencia simultáneamente, simplemente por darse una limitación en el máximo desarrollo de la fuerza.

• El entrenamiento y desarrollo de la fuerza es más necesario y positivo para la mejora de la resistencia que viceversa. Por esta razón se puede y debe incorporar el entrenamiento de la fuerza cuando el objetivo sea mejorar el rendimiento en resistencia, sin temor a interferir con el desarrollo de la capacidad aeróbica.

• Los entrenamientos de resistencia y de fuerza realizados en días separados provocan respuestas neuromusculares y endocrinas agudas y patrones de recuperación diferentes que podrían en parte explicar las limitaciones en las ganancias de fuerza cuando ambos entrenamientos se combinan en la misma sesión.

• El orden de la secuencia de ejercicio en las sesiones de entrenamiento concurrente no parece afectar a las adaptaciones generadas sobre las ganancias de fuerza, hipertrofia y resistencia en sujetos jóvenes moderadamente activos, adultos mayores, o sujetos desentrenados, al menos cuando la frecuencia y volumen de entrenamiento sea moderado.

• La posible interferencia entre las adaptaciones producidas por ambos tipos de entrenamientos parecen suceder con entrenamientos prolongados en el tiempo o con altas frecuencias de entrenamiento por microciclo (>3 sesiones a la semana).

• El entrenamiento concurrente puede tener beneficios adicionales cuando el propósito es reducir el componente graso y mejorar la composición corporal, especialmente cuando el entrenamiento cardiovascular es de alta intensidad.

• La máxima producción de fuerza y velocidad por unidad de tiempo (y por tanto de potencia) pueden verse más perjudicas con entrenamientos concurrentes que cuando el entrenamiento de fuerza se dirige a otros propósitos y se realiza a velocidades submáximas (i.e.: hipertrofia).

• La modalidad de ejercicio de resistencia practicado de forma concurrente puede tener distintos efectos, siendo posiblemente la carrera la modalidad que interfiere de forma más significativa sobre las ganancias de la fuerza e hipertrofia en las extremidades inferiores.

• Todo parece apuntar que los efectos de la interferencia en el entrenamiento concurrente son específicos de la región corporal involucrada pero no sistémicos. De forma que si la modalidad de ejercicio de resistencia realizada implica fundamentalmente a las extremidades inferiores no parecería generar ninguna interferencia adaptativa en la musculatura de las extremidades superiores y viceversa.

• Varias estrategias prácticas han demostrado ser eficaces en la reducción del fenómeno de interferencia del entrenamiento concurrente, muy especialmente aquellos relacionados con la distribución y orientación de la dosis de entrenamiento de cada capacidad (frecuencia, volumen, intensidad, densidad, modalidad de ejercicio).

REFERENCIAS

1. Aagaard, P., & Andersen, JL. (2010). Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scand J Med Sci Sports, (2), 39–47.*
2. ACSM (2011). American College of Sports Medicine position stand. *Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory, Musculoskeletal, and Neuromotor Fitness in Apparently Healthy Adults: Guidance for Prescribing Exercise. Med Sci Sports Exerc, 43(7), 1334-1359.*
3. Akbari, M., Mojtahedi, H., Mohammad, S., Movahedi, A., & Fakhreddin, S. (2012). Comparing the Effects of Three Types of Exercise (Exhaustive Endurance, Intensive Resistance and Combined Exercise) on the Secretion of Growth Hormone in Active Men. *World J Sport Scien, 6(3), 247-253.*
4. Akbarpour-Beni, M. (2012). Determining the effect of concurrent strength-endurance training on aerobic power and body composition in non-athletic male students. *Ann Bioll Res, 3(1), 395-401.*
5. Antunes, BMM., Monteiro, PA., Silveira, LS., Cayres, SU, Silva. CB, & Junior, IFF. (2013). Effect of concurrent training on risk factors and hepatic steatosis in obese adolescents. *Rev Paul Pediatr, 31(3), 371-376.*
6. Banitalebi, E., & Baghanari, HB. (2015). Effect of sequence of combined training (resistance and endurance) on Strength, Aerobic Capacity, and Body Composition in Older Women. *Middle East J Rehabil Health, 2(2), e28514.*
7. Baar, K. (2014). Using Molecular Biology to Maximize Concurrent Training. *Sports Med, 44(Suppl 2), 117–125.*
8. Bell, GJ., Syrotuik, D., Martin, TP., Burnham, R., & Quinney, HA. (2000). Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentration in humans. *Eur J Appl Physiol, 81, 418-427.*
9. Bolster, DR., Crozier, SJ., Kimball, SR., & Jefferson, LS. (2002). AMP-activated protein kinase suppresses protein synthesis in rat skeletal muscle through down-regulated mammalian target of rapamycin (mTOR) signaling. *J Biol Chem, 277: 23977–23980.*
10. Cadore, E.L., Pinto, R.S., Pinto, R.S., Alberton, C.L., Correa, C.S., & Tartaruga, M.P. (2011). Effects of strength, endurance, and concurrent training on aerobic power and dynamic neuromuscular economy in elderly men. *J Strength Cond Res, 25: 758–766.*
11. Cadore, E.L., Izquierdo, M., Alberton, C.L., Pinto, R.S., Conceição, M., Cunha, G., Radaelli, R., Bottaro, M., Trindade, G.T., & Kruel, L.F. (2012). Strength prior to endurance intra-session exercise sequence optimizes neuromuscular and cardiovascular gains in elderly men. *Exp Gerontol, 47(2), 164-169.*
12. Cadore, E.L., Izquierdo, M., dos Santos, M.G., Martins, J.B., Rodrigues Lhullier, F.L., Pinto, R.S., Silva, R.F. & Kruel, L.F. (2012b). Hormonal responses to concurrent strength and endurance training with differten exercsise orders. *J Strength Cond Res, 26(12), 3281-3288.*
13. Cadore, E.L., & Izquierdo, M. (2013). How to simultaneously optimize muscle strength, power, functional capacity, and cardiovascular gains in the elderly: an update. *Age (Dordr), 35(6), 2329-2344.*
14. Chilibeck, PD., Syrotuik, DG., Bell, GJ. (2002). The Effect of Concurrent Endurance and Strength Training on Quantitative Estimates of Subsarcolemmal and Intermyofibrillar Mitochondria. *Int J Sports Med, 23(1), 33-39.*
15. Coffey, VG., & Hawley, JA. (2007). The molecular bases of training adaptation. *Sports Med, 37, 737–763.*
16. Colato, A., Abreu, F., Medeiros, N., Lemos, L., Dorneles, G., Ramis, T., Vianna, P., Chies, JA., Peres, A. (2014). Effects of concurrent training on inflammatory markers and expression of CD4, CD8, and HLA-DR in overweight and obese adults. *J Exer Sci Fitness, 12(2), 55-61.*
17. Collins, MA., & Snow, TK. (1993). Are adaptations to combined endurance and strength training affected by the sequence of training? J Sports Sci, 11(6), 485-491.
18. Chtara, M., Chamari, K., Chaouachi, M., Chaouachi, A., Koubaa, D., Feki, Y., Millet, GP., Amri, M. (2005). Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *Br J Sports Med, 39, 555-560.*
19. Chtara, M., Chaouachi, A., Levin, GT., Chaouachi, M., Chamari, K., Amri, M., & Laursen, PB. (2008). Effect of concurrent endurance and circuit resistance training sequence on muscular strength and power development. *J Strength Cond Res, 22(4), 1037-45.*
20. Craig, BW., Lucas, J., Pohlman, R. & Stelling, H. (1991). The effects of running, weightlifting and a combination of both on growth hormone release. *J Appl Sport Sci Res, 5(4), 198-203.*
21. Davitt, PM., Pellegrino, JK., Schanzer, JR., Tjionas, H., & Arent, SM. (2013). The effects of a combined resistance training and endurance exercise program in inactive college female subjects: does order matter? J Strength Cond Res, 28(7), 1937-1945.
22. de Souza, EO., Tricoli, V., Franchini, E., Paulo, AC., Regazzini, M., & Ugrinowitsch, C. (2007). Acute effect of two aerobic exercise

modes on maximum strength and strength endurance. *J Strength Cond Res, 21, 1286–1290.*
23. de Souza, EO., Tricoli, V., Roschel, H., Brum, PC., Bacurau, AVN., Ferreira, CB., Aoki, MS. Neves-Jr, M., Aihara, AY., da Rocha, Correa; Fernandes, A., & Ugrinowitsch, C. (2012). Molecular Adaptations to Concurrent training. *Int J Sports Med, 34, 207–213.*
24. Denadai, B.S., Greco, C.C., Tufik, S. & de Mello, M.T. (2007). Effects of high in- tensity running to fatigue on isokinetic muscular strength in endurance athletes. *Isokinetics & Exercise Science, 15(4), 281-285.*
25. Docherty, D., & Sporer, B. (2000). A Proposed Model for Examining the Interference Phenomenon Between Concurrent Aerobic and Strength Training. *Sports Med, 30(6), 385-394.*
26. Doma, K., & Deakin, GB. (2013). The effects of strength training and endurance training order on running economy and performance. *Applied Physiology, Nutrition & Metabolism, 38(6), 651-656.*
27. Dudley, GA., & Djamil, R. (1985). Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *J Appl Physiol, 59, 1446–1451.*
28. Emamdost, S., Faramarzi, M., Bagheri, L., Otadi, K., Amiri, M., Yaz-dani, T. (2014). The effect of combined exercise training on plasma leptin levels and hormonal factors in overweight men. *Yafteh, 16(1), 79-90.*
29. Eklund, D., Schumann, M., Kraemer, W.J., Izquierdo, M., Taipale, R.S., 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, [Epub ahead of print]*
30. Ferdosi, M.H., & Asad, MR. (2012). The effect of endurance, resistance and concurrent trainings on plasma leptin levels of non-athlete males. *Procedia Soc Behav Sci, 46, 311-315.*
31. Fernández-Gonzalo, R., Lundberg, T.R., & Tesch, P.A. (2013). Acute molecular responses in untrained and trained muscle subjected to aerobic and resistance exercise training versus resistance training alone. *Acta Physiol, 209, 283–294.*
32. Fleck, S., & Kraemer, W. (1987). Designing Resistance Training Programs-4th Edition. *Human Kinetics.*
33. Fry, AC. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med, 34, 663–679.*
34. Fyfe, JJ., Bishop, D.J., & Stepto, NK. (2014). Interference between concurrent resistance and endurance exercise: molecular bases and the role of individual training variables. *Sports Med, 44(6), 743-762.*
35. García-Pallarés, J., & Izquierdo, M. (2011). Strategies to Optimize Concurrent Training of Strength and Aerobic Fitness for Rowing and Canoeing. *Sports Med, 41(4), 329-343.*
36. García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, L., Carrasco, L., Díaz, A., & Izquierdo, M. (2009). Endurance and neuromuscular changes in world-class level kayakers during a periodized training cycle. *Eur J Appl Physiol, 106(4), 629-638.*
37. Gergley, J.C. (2009). Comparison of two lower-body modes of endurance train- ing on lower-body strength development while concurrently training. *J Strength Cond Res 2009, 23(3), 979-987.*
38. Ghahramanloo, E., Midgley, A.W, & Bentley, DJ. (2009). The effect of concurrent training on blood lipid profile and anthropometrical characteristics of previously untrained men. *J Phys Act & Health, 6(6), 760- 766.*
39. Glowacki, S.P., Martin, S.E., Maurer, A., Baek, W., Green., J.S., & Crouse, S.F. (2004). Effects of resistance, endurance, and concurrent exercise on training outcomes in men. *Med Sci Sports Exerc, 36, 2119-2127.*
40. González-Badillo, JJ., Ribas, J. (2002). Bases de la programación del entrenamiento de la fuerza. *Barcelona: INDE.*
41. Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W.J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J., & Paavolainen, L. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol, 89: 42–52.*
42. Hawley. J.A. (2000). Molecular responses to strength and endurance training: Are they incompatible? Applied Physiol Nutr Metab, 34(3), 355-361.
43. Hennessy, L., & Watson, A. (1994). The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *J Strength Cond Res, 12: 9–12.*
44. Heredia, J,.R., Isidro, F., Peña, G., Mata, F., Moral, S., Martin, M., Segarra, V., & Da Silva, M. (2012). Criterios básicos para el diseño de programas de acondicionamiento neuromuscular saludable en centros de fitness. *EFDeportes, Año 17- Nº 170.*
45. Hickson, R.C. (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 45: 255–263.*
46. Hickson, R.C., Dvorak, B.A., Gorastiaga, E.M., Durowski, T.T., & Foster, C. (1988). Potiential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol, 65(5), 2285-2290.*
47. Ho, S.S., Dhaliwal, S.S., Hills, A.P., & Pal, S. (2012). The effect of 12 weeks of aerobic, Resistance or combination exercise training on cardiovascular risk factors in the overweight and obese in a randomized trial. *BMC Public Health, 28,12, 704.*
48. Hoff, J., Helgerud, J., & Wisloff, U. (1999). Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Med Sci Sport Exer, 31, 870-877.*
49. Holviala, J., Häkkinen, A., Karavirta, L., Nyman, K., Izquierdo, M., Gorostiaga, E.M., Avela, J., Korhonen, J., Knuutila, V.P., Kraemer, W.J., & Häkkinen, K. (2010). Effects of combined strength and endurance training on treadmill load carrying walking performance in aging men. *J Strength Cond Res, 24, 1584-1595.*
50. Holviala, J., Kraemer, W.J., Sillanpää, E., Karppinen, H., Avela, J., Kauhanen, A., Häkkinen, A., & Häkkinen, K. (2012). Effects of strength, endurance and combined training on muscle strength, walking speed and dynamic balance in aging men. *Eur J Appl Physiol, 112(4), 1335-1347.*
51. Hunter, G., Demment, R., & Miller, D. (1987). Development of strength and maximum oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance. *J Sports Med Phys Fitness, 27, 269–275.*
52. Hupin, D., Roche, F., Gremeaux, V., Chatard, J.C., Oriol, M., Gaspoz, J.M., Barthélémy, J.C., & Edouard, P. (2015). Even a low-dose of moderate-to-vigorous physical activity reduces mortality by 22% in adults aged ≥60 years: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med, 49, 1262-1267.*
53. Izquierdo, M., Ibañez, J., Häkkinen, K., Kraemer, W.J., Larrión, J.L., & Gorostiaga, E.M. (2004). Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Med Sci Sports Exerc, 36, 435-443.*

54. Izquierdo, M., Häkkinen, K., Ibánez, J., Kraemer, W.J., & Gorostiaga, E.M. (2005). Effects of combined resistance and cardiovascular training on strength, power, muscle cross-sectional area, and endurance markers in middle-aged men. *Eur J Appl Physiol, 94(1-2), 70-75*.
55. Izquierdo-Gabarren, M., González de Txabarri, Expósito R., García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, L., De Villareal, E.S., & Izquierdo, M. (2010). Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Med Sci Sports Exerc, 42(6), 1191-1199*.
56. Jones, T.W., Howatson, G., Russell, M., & French, D.N. (2013). Performance and neuromuscular adaptations following differing ratios of concurrent strength and endurance training. *J Strength Cond Res, 27(12), 3342–3351*.
57. Karavirta, L., Häkkinen, A., Sillanpää, E., García-López, D., Kauhanen, A., Haapasaari, A., Alen, M., Pakarinen, A., Kraemer, W.J., Izquierdo, M., Gorostiaga, E., Häkkinen, K. (2009). Effects of combined endurance and strength training on muscle strength, power and hypertrophy in 40-67 year old men. *Scand J Med Sci Sports, 21(3), 402-411*.
58. Kodama, S., Saito, K., Tanaka, S., Maki, M., Yachi, Y., Asumi, M., Sugawara, A., Totsuka, K., Shimano, H., Ohashi, Y., Yamada, N., & Sone, H. (2009). Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *JAMA, 301(19), 2024–2035*.
59. Kraemer, W., Patton, J., Gordon, S., Harman, E., Deschenes, M., Reynolds, K., Newton, R., Triplett, N., & Dziados, J. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol, 78, 976–989*.
60. Lepers, R., Theurel, J., Hausswirth, C., & Bernard, T. (2008). Neuromuscular fatigue following constant versus variable-intensity endurance cycling in triathletes. *J Sci Med Sports, 11(4), 381-389*.
61. Leveritt, M., Abernethy, P.J., Barry, B.K., & Logan, PA. (1999). Concurrent strength and endurance training. *A review. Sports Med, 28(6), 413–427*.
62. Leveritt, M., & Abernethy, P. (1999). Acute effects of high-intensity endurance exercise on subsequent resistance activity. *J Strength Cond Res, 13, 47–51*.
63. Leveritt, M., MacLaughlin, H., & Abernethy, P.J. (2000). Changes in leg strength 8 and 32 h after endurance exercise. *J Sports Sci, 18(11), 865-871*.
64. Loveless, D.J., Weber, C.L., Haseler, L.J., & Schneider, DA. (2005). Maximal leg-strength training improves cycling economy in previously untrained men. *Med Sci Sports Exerc, 37, 1231–1236*.
65. Lundberg, T.R., Fernández-Gonzalo, R., & Tesch, P.A. (2014). Exercise-induced AMPK activation does not interfere with muscle hypertrophy in response to resistance training in men. *J Appl Physiol, 116(6), 611-620*.
66. MacLean, D.A., Graham, T.E., & Saltin, B. (1994). Branched-chain amino acids augment ammonia metabolism while attenuating protein breakdown during exercise. *Am J Physiol, 267, E1010–E1022*.
67. Marcinik, E.J, Potts, J., Schlabach, G., Will, S., Dawson, P., Hurley, B.F. (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med Sci Sports Exerc, 23(6), 739-743*.
68. McCarthy, J.P., Agre, J.C., Graf, B.K., Pozniak, M.A., & Vailas, A.C. (1995). Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc, 27, 429–436*.
69. Metter, E.J., Talbot, L.A., Schrager, M., Schrager, M., & Conwit, R. (2002). Skeletal muscle strength as a predictor of all-cause mortality in healthy men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 57, B359-65*.
70. Mikkola, J., Rusko, H., Nummela, A., Pollari, T., & Häkkinen, K. (2007). Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. *Int J Sports Med, 28, 602-611*.
71. Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K., & Nummela A. (2011). Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. *J Sport Sci, 29(13), 1359-1371*.
72. Mikkola, J., Rusko, H., Izquierdo, M., Gorostiaga, E.M., & Häkkinen K. (2012). Neuromuscular and cardiovascular adaptations during concurrent strength and endurance training in untrained men. *Int J Sports Med, 33(9), 702-710*.
73. Millet, G.P., Jaouen, B., Borrani, F., & Candau, R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO2 kinetics. *Med Sci Sports Exerc, 34(8), 1351-1359*.
74. Mirghani, S.J., Agha-Alinejad, H., Azarbayjani, M.A., Mazidi, A., & Mirghani, S.A. (2014). Influence of strength, endurance and concurrent training on the lipid profile and blood testosterone and cortisol response in young male wrestlers. *Batlic J Health Phys Act, 6(1), 7-16*.
75. Nader, G,A. (2006). Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Med Sci Sports Exerc, 38(11), 1965-1970*.
76. Nelson, A.G., Arnall, D.A., Loy, S.F., Silvester, L.J., & Conlee, RK. (1990). Consequences of combining strength and endurance training regimens. *Phys Ther, 70, 287–294*.
77. Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämäläinen, I., Nummela, A., & Rusko, H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol, 86(5), 1527-1533*.
78. Philp, A., Hamilton, D.L., & Baar, K. (2011). Signals mediating skeletal muscle remodeling by resistance exercise: PI3-kinase independent activation of mTORC1. *J Applied Physi, 110, 561-568*.
79. Rezaee, S., Kahrizi, S., & Hedayati, M. (2014). Hormonal responses of combining endurance-resistance exercise in healthy young men. *J Sports Med Phys Fitness, 54(2), 244-51*.
80. Robineau, J., Babault, N., Piscione, J., Lacome, M., & Bigard, A.X. (2014). The specific training effects of concurrentaerobic and strength exercises depends on recovery duration. *J Strength Cond Res, [Epub ahead of print]*.
81. Rønnestad, B.R., Hansen, E.A., & Raastad, T. (2012). High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *Eur J Appl Physiol, 112, 1457-1466*.
82. Rønnestad, B.R., Hansen, J., Hollan, I., & Ellefsen, S. (2015). Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. *Scand J Med Sci Sports, 25, e89–e98*.
83. Rosa, G., Cruz, L., Mello, D.B., Fortes, M.D.S.R., & Dantas, E.H.M. (2010). Plasma levels of leptin in overweight adults undergoing concurrent training. *Int Sport Med J, 11, 356—362*.

84. Rosa, C., Vilaca-Alves, J., Fernandes, H.M., Saavedra, F.J., Pinto, R.S., & dos Reis, V.M. (2015). Order effects of combined strength and endurance training on testosterone, cortisol, growth hormone and IGFBP-3 in concurrent-trained men. *J Strength Cond Res, 29(1), 74-79.*
85. Sale, D. (1992). Neural adaptation to strength training. *In: Komi P, (editor). Strength and power in sport (pp. 249-265). Oxford: Blackwell Scientific Publications.*
86. Schumann, M. (2011). Acute blood lactate and hormonal responses to single session combined strength and endurance loadings: Order effect in female and male endurance runners. *Master's Thesis in Science of Sport Coaching and Fitness testing. Department of Biology of Physical Activity. University of Jyväskylä.*
87. Schumann, M., Eklund, D., Taipale, R.S., Nyman, K., Kraemer, W.J., Häkkinen, A., Izquierdo, M., & Häkkinen, K. (2013). Acute neuromuscular and endocrine responses and recovery to single-session combined endurance and strength loadings: "Order effect" in untrained young men. *J Strength Cond Res, 27(2), 421–433.*
88. Schumann, M., Walker, S., Izquierdo, M., Newton, R.U., Kraemer, W.J., & Häkkinen, K. (2014). The order effect of combined endurance and strength loadings on force and hormone responses: Effects of prolonged training. *Eur J Appl Physiol, 114(4), 867-880.*
89. Schumann, M., Küüysmaa, M., Newton, R.U., Sirparanta, A.I., Syväoja, H., Häkkinen, A., & Häkkinen, K. (2014b). Fitness and Lean Mass Increases during Combined Training Independent of Loading Order. *Med Sci Sports Exerc, 46(9), 1758–1768.*
90. Schumann, M., Mykkänen, O.P., Doma, K., Mazzolari, R., Nyman, K., & Häkkinen, K. (2015). Effects of endurance training only versus same-session combined endurance and strength training on physical performance and serum hormone concentrations in recreational endurance runners. *Appl Physiol Nutr Metab, 40(1), 28-36.*
91. Schumann, M., Yli-Peltola, K., Abbiss, CR., & Häkkinen, K. (2015b). Cardiorespiratory Adaptations during Concurrent Aerobic and Strength Training in Men and Women. *PLoS ONE, 10(9), 1-15.*
92. Sedano, S., Marín, P.J., Cuadrado, G., Redondo, & J.C. (2013). Concurrent Training in Elite Male Runners: The Influence of Strength Versus Muscular Endurance Training on Performance Outcomes. *J Strength Cond Res, 27(9), 22433–24443.*
93. Sheikholeslami-Vatani, D., Siahkouhian, M., Hakimi, M., & Ali-Mohammadiet, M. (2015). The effect of concurrent training order on hormonal responses and body composition in obese men. *Sci & Sports, In press.*
94. Sillanpää, E., Häkkinen, A., Nyman, K., Mattila, M., Cheng, S., Karavirta, L., Laaksonen, D.E., Huuhka, N., Kraemer, W.J., & Häkkinen, K. (2008). Body composition and fitness during strength and/or endurance training in older men. *Med Sci Sports Exerc, 40, 950–958.*
95. Sillanpää, E., Laaksonen, D.E., Häkkinen, A., Karavirta, L., Jensen, B., Kraemer, W.J., Nyman, K., & Häkkinen, K. (2009). Body composition, fitness, and metabolic health during strength and endurance training and their combination in middle-aged and older women. *Eur J Appl Physiol, 106(2), 285-296.*
96. Silva, R.F., Cadore, E.L., Kothe, G., Guedes, M., Alberton, C.L., Pinto, S.S., Pinto, R.S., Trindade, G., & Kruel, L.F.M. (2012). Concurrent Training with Different Aerobic Exercises. *Int J Sports Med, 33: 627–634.*
97. Sporer, B.C., & Wenger, H.A. (2003). Effects of aerobic exercise on strength performance following various periods of recovery. *J Strength Cond Res, 17(4): 638-644.*
98. Taipale, R., & Häkkinen, K. (2013). Acute hormonal and force responses to combined strength and endurance loadings in men and women: the "order effect". *PLoS One, Feb 7, 8(2), e55051.*
99. Tan, J.G., Coburn, J.W., Brown, L.E., & Judelson, D.A. (2014). Effects of a single bout of lower-body aerobic exercise on muscle activation and performance during subsequent lower- and upper-body resistance exercise workouts. *J Strength Cond Res, 28(5), 1235–1240.*
100. Volaklis, K.A., Halle, M., & Meisinger, C. (2015). Muscular strength as a strong predictor of mortality: A narrative review. *Eur J Intern Med, In press.*
101. Wang, L., Mascher, H., Psilander, N., Blomstrand, E., & Sahlin K. (2011). Resistance Exercise Enhances the Molecular Signaling of Mitochondrial Biogenesis Induced by Endurance Exercise in Human Skeletal Muscle. *J Appl Physiol, 111, 1335–1344.*
102. Wilhelm, E.N., Rech, A., Minozzo, F., Ehlers Botton, C., Radaelli, R., Costa Teixeira, B., Reischak-Oliveira, A., Silveira Pinto, R. (2014). Concurrent strength and endurance training exercise sequence does not affect neuromuscular adaptations in older men. *Experimental Gerontology, 60, 207–214.*
103. Wilson, J.M., Marin, P.J., Rhea, M.R., Wilson, S.M.C., Loenneke, J.P., & Anderson, J.C. (2012). Concurrent training: A meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercise. *J Strength Cond Res, 26(8), 2293–2307.*