

Article

Proposición de un Modelo para Analizar el Fenómeno de Interferencia durante el Entrenamiento Concurrente de la Fuerza y la Resistencia

David Docherty y Ben C Sporer

School of Physical Education, University of Victoria, Victoria, British Columbia, Canada

RESUMEN

Una revisión de la investigación actual sobre el fenómeno de interferencia entre el entrenamiento aeróbico y el entrenamiento de la fuerza simultáneos, indica un apoyo modesto al modelo propuesto en este artículo. Sin embargo, está claro que sin un enfoque sistemático de las investigaciones sobre el fenómeno se produce una falta de control y manejo de las variables independientes, lo que dificulta la evaluación de la validez del modelo. Para mejorar la comprensión del fenómeno de la interferencia, es importante que los investigadores sean precisos y reflexionen sobre sus elecciones de protocolos de entrenamiento. Es necesario tener una definición clara de los objetivos específicos de entrenamiento para la fuerza (hipertrofia muscular o adaptación neural) y para la potencia aeróbica (potencia aeróbica máxima o umbral anaeróbico). Además, los investigadores deben igualar los volúmenes de entrenamiento para todos los grupos tanto como les sea posible. Es necesario tener cuidado para evitar individuos sobreentrenados. Debemos considerar adecuados niveles de recuperación y regeneración entre las sesiones de entrenamiento concurrente y durante el ciclo de entrenamiento. El modelo debe ser probado inicialmente manteniendo los mismos protocolos durante toda la duración del estudio. Sin embargo, cada vez es más común utilizar un enfoque periodizado en un mesociclo de entrenamiento en el cual se produce un cambio desde un entrenamiento con volumen alto e intensidad moderada hacia otro de bajo volumen y de intensidad más alta. El modelo debe ser evaluado en el contexto de un mesociclo periodizado siempre que los investigadores sean sensibles al impacto potencial de los parámetros de carga en el fenómeno de la interferencia. Podría ser que el enfoque periodizado sea una manera de mantener el estímulo de entrenamiento y minimizar la cantidad de interferencia. Al investigar el fenómeno de la interferencia, los efectos del género, estado de entrenamiento, duración y frecuencia de entrenamiento y modo de entrenamiento deben ser considerados como factores potenciales que afectan la respuesta al entrenamiento. Otros factores del diseño experimental como el entrenamiento de una sola extremidad o el entrenamiento del tren superior para un atributo y del tren inferior para otro atributo, pueden ayudar a establecer la validez del modelo.

Muchos deportes exigen que los atletas desarrollen niveles altos de varios atributos físicos y de aptitud física para competir en un nivel de élite. Idealmente, los atletas emplean un enfoque de entrenamiento "periodizado" para un óptimo desarrollo a largo plazo, lo que les permite alcanzar secuencialmente los requisitos de aptitud para el deporte que realizan durante un cierto tiempo (1). Sin embargo, debido a la falta de tiempo y a las demandas de los horarios competitivos, no siempre es posible aplicar un enfoque periodizado secuencial. Por consiguiente, a menudo los atletas deben entrenar diferentes sistemas fisiológicos durante el mismo ciclo de entrenamiento. Esto parece particularmente verdadero para los atributos básicos de aptitud de fuerza y potencia aeróbica. Generalmente se ha concluido que el aumento en la fuerza se ve

afectado cuando se entrena simultáneamente con la potencia aeróbica, y esto ha sido denominado “fenómeno de la interferencia (2).

Se han propuesto varias hipótesis para explicar el fenómeno de la interferencia o la disminución en los aumentos de fuerza cuando se entrena simultáneamente con la potencia aeróbica en comparación a cuando se entrena solo la fuerza. Las hipótesis sugieren que el entrenamiento combinado produce una fatiga excesiva, un mayor estado catabólico, diferencias en los patrones de reclutamiento de unidades motoras y un posible cambio en el tipo de fibra (2-4). En una reciente revisión, (5) los diferentes mecanismos que posiblemente contribuyen con la inhibición del desarrollo de fuerza cuando se entrena de manera simultánea la fuerza y la resistencia, fueron definidos como hipótesis crónicas o agudas. La hipótesis crónica propone que el músculo no se puede adaptar metabólicamente o morfológicamente al entrenamiento simultáneo debido a las diferentes adaptaciones que son necesarias. La hipótesis aguda postula que el entrenamiento de la fuerza está comprometido por la fatiga residual originada por el entrenamiento de resistencia. En su revisión, Kraemer y Nindl (6) concluyeron que es posible unir las diferentes hipótesis que intentan explicar el fenómeno de la interferencia. Ellos afirman que el entrenamiento simultáneo produce un estado de “sobreentrenamiento” tal que los estímulos de entrenamiento exceden la respuesta adaptativa máxima de un sistema fisiológico dado. Sin embargo, su conclusión parecería ser una simplificación excesiva, especialmente en relación al desarrollo simultáneo de fuerza y potencia aeróbica, basados en resultados poco concluyentes de estudios que han investigado este tema.

Resultados contradictorios han concluido que el entrenamiento combinado de la fuerza y la potencia aeróbica afecta la ganancia de fuerza (7-9), no afecta la ganancia de fuerza (10-12), no afecta los aumentos en la potencia muscular (10,13) o no afecta claramente la potencia aeróbica. Examinando la metodología de la literatura actual, está claro que se han usado varios protocolos de entrenamiento diferentes para desarrollar simultáneamente la fuerza y la potencia aeróbica, lo que podría explicar la disparidad en los resultados (5).

Los investigadores han intentado mejorar la potencia aeróbica por medio de entrenamiento en intensidades submáximas (8, 10, 11) y máximas (7, 12, 14). Algunos estudios han implementado entrenamiento continuo de larga duración (8, 10,15) otros estudios utilizaron entrenamiento intervalado de corta duración (7, 13, 14) y otros utilizaron una combinación de entrenamiento continuo e intervalado (2, 9). La duración de los programas de entrenamiento ha variado de 7 semanas (13) hasta una duración prolongada de 20 semanas (8) y la experiencia en entrenamiento de los individuos varió desde individuos desentrenados o con pocos antecedentes de entrenamiento (8, 10) a individuos altamente entrenados o atletas de élite (2, 4). El tipo y la duración de los protocolos de entrenamiento que se han usado proporcionarían estímulos de entrenamiento diferentes y también diferentes adaptaciones fisiológicas subsiguientes. De manera similar, los protocolos que se utilizaron para desarrollar la fuerza difieren en el volumen de entrenamiento (repeticiones), tipo de acción muscular, carga de entrenamiento, número de series y duración de los programas (2, 4, 7, 8, 10, 13). Las diferencias en los protocolos de entrenamiento, sobre todo con respecto a la intensidad y el volumen, producirán adaptaciones neuromusculares distintas. El entrenamiento con cargas altas y bajo volumen ha sido asociado con un mayor reclutamiento motor y mayor potenciación neural mientras que el entrenamiento con volúmenes altos y cargas bajas ha sido asociado con la hipertrofia muscular (16, 17)

Sobre la base de las variaciones en el diseño de los diferentes estudios, especialmente en los protocolos de entrenamiento, es difícil plantear una conclusión general o interpretar los resultados. Es posible que los diferentes protocolos de entrenamiento utilizados para producir aumentos en la potencia aeróbica y en la fuerza puedan interactuar para producir diferentes niveles de interferencia basados en la especificidad de las adaptaciones fisiológicas y neuromusculares.

Por lo tanto los propósitos de este trabajo de investigación son:

- Revisar los efectos de diferentes protocolos de entrenamiento utilizados para desarrollar potencia aeróbica y adaptaciones fisiológicas.
- Revisar los efectos de diferentes protocolos de entrenamiento para el desarrollo de la fuerza y sobre las respuestas neuromusculares subsecuentes.
- Identificar los protocolos de entrenamiento utilizados para aumentar la potencia aeróbica y la fuerza que pueden producir interferencias máximas o mínimas para la adaptación.
- Proponer un modelo que pueda ser utilizado para estudiar el fenómeno de la interferencia de manera sistemática y controlada.

Entrenamiento de la Potencia Aeróbica Máxima

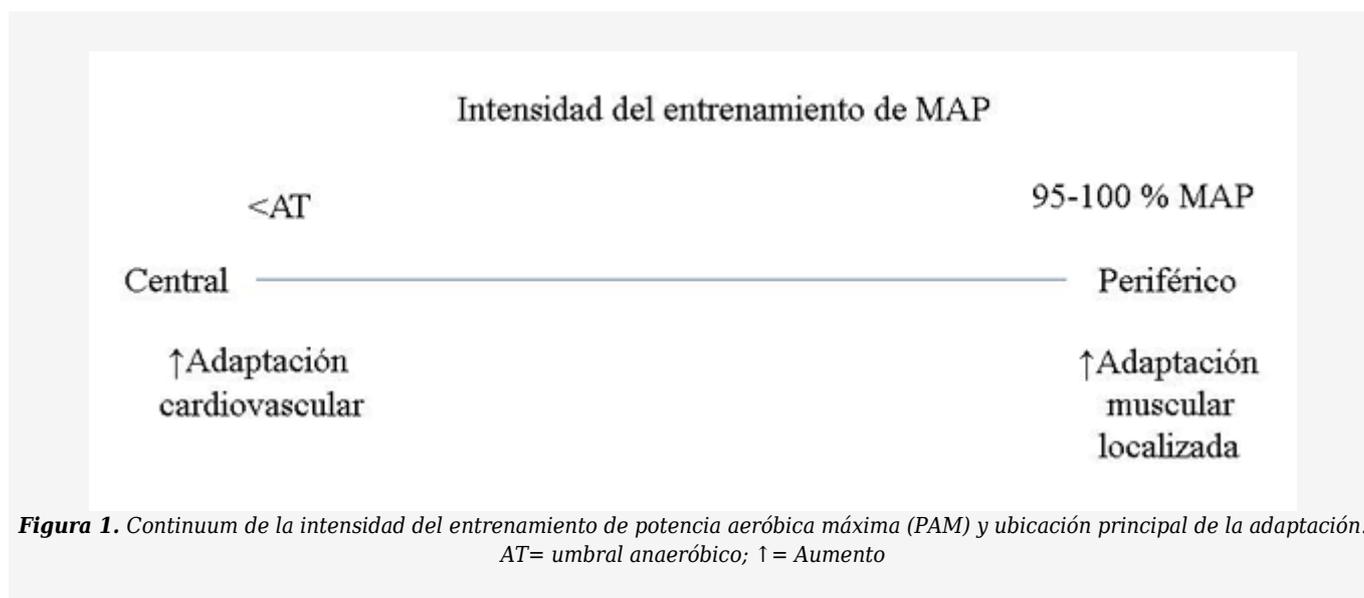
La potencia aeróbica máxima (PAM) es la velocidad máxima con la que se puede producir energía en un músculo, principalmente a través del metabolismo oxidativo (18). La medida más común de PAM es el consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}) expresado en valor absoluto (L/min) o en valor relativo (ml/kg/min). El VO_{2max} puede ser aumentado proporcionando un estímulo que aumente la capacidad del cuerpo para transportar y utilizar el oxígeno. Se considera que el transporte de

oxígeno depende del sistema cardiopulmonar y se lo denomina componente central mientras que las adaptaciones que ocurren en el tejido muscular se denominan componente periférico (19). La efectividad del sistema cardiopulmonar para entregar oxígeno al tejido muscular depende de la difusión pulmonar, el gasto cardíaco (Q) y afinidad de la hemoglobina (19,20). El glucógeno almacenado en el músculo, la densidad capilar, el volumen y la densidad mitocondrial y el contenido de enzimas aeróbicas y mioglobina, son todos factores que influyen en la utilización de oxígeno en el músculo o componente periférico (21-23).

La capacidad aeróbica máxima es otro componente de la aptitud aeróbica y hace referencia a la cantidad máxima de trabajo que puede ser realizado usando principalmente el metabolismo oxidativo. El umbral anaeróbico (AT), expresado como umbral del lactato (LT) o umbral ventilatorio (VT) dependiendo de la técnica de medición, se considera que refleja la capacidad aeróbica, sobre todo cuando es expresado en alguna forma de producción de potencia o velocidad de movimiento (18). El AT depende de la capacidad del músculo de remover o tolerar el ácido láctico. Si bien está relacionado con el VO_{2max} , se considera que tiene características únicas por lo que requiere un protocolo de entrenamiento específico. El protocolo para aumentar el umbral anaeróbico (AT) generalmente consiste en un entrenamiento continuo de por lo menos 20 minutos a la velocidad AT, (24) que típicamente sería 75 a 85% de VO_{2max} dependiendo del estado de entrenamiento del atleta. El AT es considerado como un fuerte estimador de éxito en los eventos de fondo, como la carrera de 10000 m y el esquí de fondo (18). La mayoría de los estudios que investigaron el fenómeno de la interferencia se centraron en el desarrollo de PAM. Por consiguiente, este artículo se limitará a la discusión de los efectos de diferentes protocolos de entrenamiento y al desarrollo de PAM o VO_{2max} .

Se ha observado que diferentes protocolos de entrenamiento con diferentes niveles de intensidades de entrenamiento aumentan el VO_{2max} (13, 25-27). Sin embargo, el entrenamiento en diferentes intensidades produciría adaptaciones fisiológicas diferentes o cambios en la ubicación principal de las adaptaciones. Las intensidades de entrenamiento diseñadas para producir aumentos en el VO_{2max} se expresan típicamente como porcentaje de la frecuencia cardíaca máxima (% HRmax) o del consumo de oxígeno máximo (% VO_{2max}). Craig et al. (28) observaron un aumento de 12 % en el PAM en varones altamente entrenados al entrenar a 75 % de HRmax (-65% VO_{2max}) mientras que Cunningham et al. (29) observaron aumentos significativos en el entrenamiento de la PAM tanto a 80 como a 100 % del VO_{2max} . A partir de una revisión extensa de la literatura, Wenger y Bell (27) concluyeron que se produjeron incrementos mayores en PAM a medida que la intensidad del entrenamiento se acercaba al VO_{2max} . El ejercicio por encima del 80 % VO_{2max} generalmente no puede ser mantenido por largos períodos de tiempo (30). Por consiguiente, el ejercicio a esta intensidad normalmente se realiza en intervalos de trabajo de 1 a 3 minutos intercalados con tiempos de descanso similares, para permitir más trabajo en niveles de intensidad más altos. Esta metodología para entrenar la PAM a menudo se denomina entrenamiento intervalado aeróbico (19).

Además de la magnitud de cambio en la PAM en respuesta a los cambios en la intensidad del entrenamiento, se produciría un cambio en la ubicación de las adaptaciones fisiológicas (Figura 1).



Dependiendo de la intensidad del entrenamiento, la adaptación puede ocurrir en el componente central o en el

componente periférico. En las intensidades más bajas, las adaptaciones fisiológicas ocurren principalmente en el componente central (9, 29). MacDougall y Sale (19) han sugerido que las fuerzas contráctiles máximas del corazón se producen aproximadamente a 75% del VO_{2max} , y por consiguiente el estímulo de entrenamiento óptimo para reforzar el sistema cardiopulmonar estaría en una intensidad ligeramente por debajo del AT (70 a 80% del VO_{2max}). Cunningham et al. (29) compararon los efectos del entrenamiento continuo (intensidad baja) y del entrenamiento intervalado (intensidad alta) en mujeres desentrenadas. El grupo que realizó entrenamiento continuo entrenó a 80% del VO_{2max} durante 20 minutos, 4 veces por semana mientras que el grupo que realizó el entrenamiento intervalado entrenó a 100% del VO_{2max} con una relación trabajo:descanso de 2: 1. La cantidad total de trabajo fue la misma en los dos grupos de entrenamiento. Los resultados indicaron que, aunque ambos grupos mostraron mejoras significativamente similares en VO_{2max} , el grupo que realizó el entrenamiento intervalado presentó mayores aumentos en la diferencia arterio-venosa de oxígeno (diferencia a-vO₂) que el grupo que realizó entrenamiento continuo, lo que refleja una adaptación periférica mayor. La mejora obtenida en el grupo que realizó entrenamiento continuo habría estado regulada más centralmente.

Se ha propuesto que las adaptaciones periféricas se estimulan a través del estado de hipoxia experimentado por el músculo durante el entrenamiento aeróbico intervalado de alta intensidad (19). Tales adaptaciones fisiológicas son similares a los cambios producidos por la exposición a la altitud elevada. Terrados (31) observó que el entrenamiento en altitud simulada producía aumentos en el contenido de mioglobina y en la actividad de enzimas oxidativas similares a los cambios periféricos que se producen a causa del entrenamiento aeróbico de alta intensidad tal como los describen las revisiones de Holloszy y Coyle, (21) y Hoppeler y colegas. (23). Otras adaptaciones incluyen aumentos en la capilarización muscular, actividad de enzimas mitocondriales y volumen de mioglobina (21, 23).

Se han observado efectos más directos de la intensidad del entrenamiento y de la hipoxia muscular a través del uso de espectroscopía cercana al infrarrojo (NIRS). La NIRS es un método no invasivo que permite medir la oxigenación completa del músculo por medio de las propiedades de absorción de la luz de la hemoglobina y de la mioglobina. Varios estudios que utilizaron NIRS han observado que el grado de hipoxia muscular se relaciona directamente con el aumento en la intensidad del ejercicio, (32-34). Con un protocolo de ejercicio incremental Bhambhani y col, (32), demostraron que el nivel de saturación de oxígeno disminuía a medida que aumentaba la intensidad del ejercicio. En los primeros 2 minutos se observó un aumento rápido en el nivel de saturación seguido por una disminución continua a medida que aumentaba la producción de potencia. Aproximadamente en el umbral ventilatorio (VT) la tasa de desaturación se desaceleró hasta que se alcanzó el VO_{2max} y no cambió mucho cerca de las intensidades máximas. Sin embargo, el estado de hipoxia fue máximo en el VO_{2max} . Belardinelli et al. (33) y un estudio más reciente realizado por Bhambhani y col (34), también apoyaron la relación entre la hipoxia muscular y la intensidad del ejercicio.

Las intensidades de ejercicio altas también han sido asociadas con cambios en el reclutamiento del tipo de fibra y adaptación. Dudley et al. (35) midieron los niveles del citocromo C en ratones después de 8 semanas de entrenamiento en diferentes intensidades. El citocromo C es un constituyente importante del metabolismo aeróbico (36). En intensidades de entrenamiento bajas (10 m/min) se reclutan principalmente las fibras de tipo I y IIa y se observan aumentos en la capacidad oxidativa. A medida que la intensidad aumenta se produce una adaptación en las fibras de tipo I y IIa y un aumento la capacidad oxidativa de las fibras IIb. A 60 m/min sólo las fibras de tipo IIb presentan algún incremento en la capacidad oxidativa.

En resumen, el tipo de adaptación fisiológica al entrenamiento aeróbico depende de la intensidad del entrenamiento. Las intensidades de entrenamiento más bajas se asocian con cambios en los mecanismos cardiopulmonares como la difusión pulmonar, Q y hemoglobina. A medida que la intensidad del entrenamiento aumenta la localización de la adaptación se desplazaría hacia los componentes periféricos observándose cambios en la capilarización muscular, en la actividad de las enzimas oxidativas, en el volumen y densidad mitocondrial y en la mioglobina. El reclutamiento preferencial de las fibras de tipo IIb también se produce en los niveles más altos de intensidad con aumentos correspondientes en la capacidad oxidativa. Desarrollar una comprensión y visión sobre la posible interferencia entre el entrenamiento simultáneo de la fuerza y de la potencia aeróbica sería importante para identificar y aislar el protocolo de entrenamiento específico utilizado para producir las mejoras en el rendimiento aeróbico.

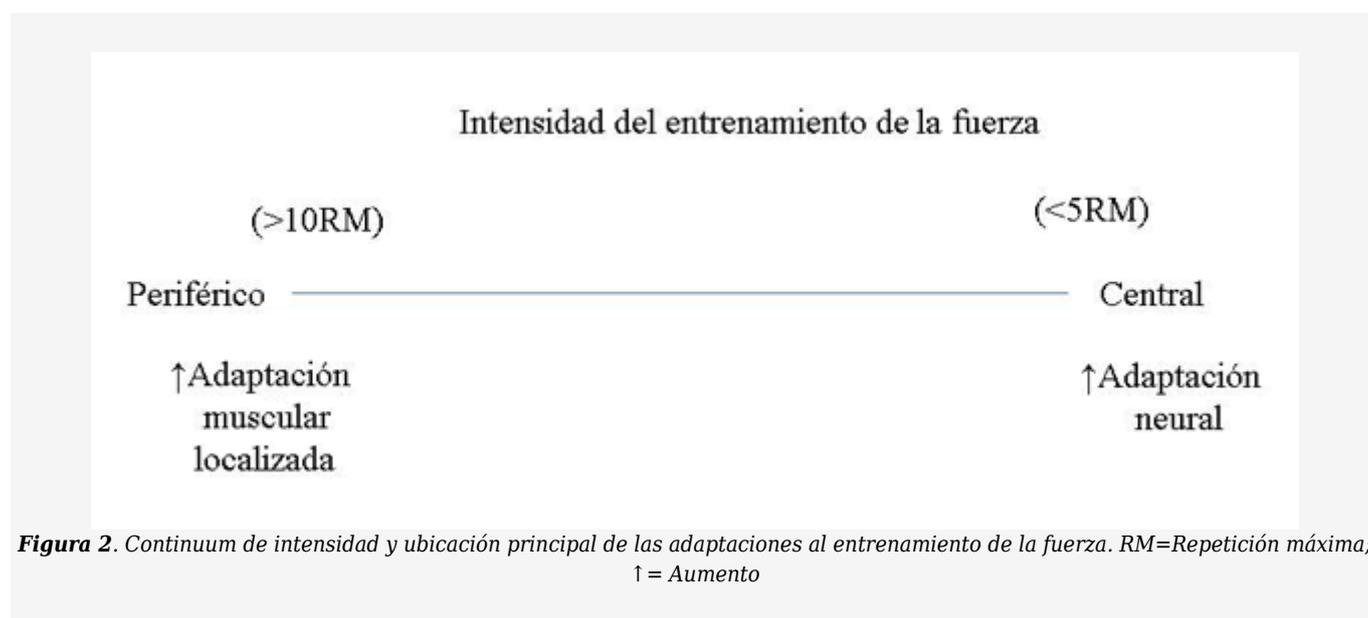
Entrenamiento de la Fuerza Muscular

Las mejoras en la fuerza muscular, medidas por la fuerza producida durante una contracción voluntaria máxima (MVC), se producen como resultado de un aumento en el área transversal del músculo (CSA) y de la capacidad de activar eficientemente las unidades motoras (16). Se considera que el aumento en el CSA del músculo se produce como resultado de la síntesis de proteínas, principalmente actina y miosina en los miofilamentos lo que produce un mayor número de unidades contráctiles (37). El aumento en la activación de unidades motoras (MUA) se produce como resultado de una mayor cantidad de fibras reclutadas, mayor frecuencia de disparo, menor co-contracción de antagonistas, una mejor sincronización de MUA e inhibición de los mecanismos reflexivos (tales como el órgano del tendón de golgi) que normalmente regulan la cantidad de fuerza que se puede generar (6, 38). El aumento en el CSA muscular produce un

aumento en la masa corporal y es importante para el desarrollo de la fuerza absoluta. Normalmente se diseñan programas que buscan aumentar MUA para mejorar la fuerza relativa, o la fuerza en relación a la masa corporal (17). Los aumentos en MVC han sido producidos a través de una variedad de protocolos de entrenamiento que incluyen variables de entrenamiento como intensidad (carga o resistencia) y volumen (número de repeticiones). Normalmente la intensidad en el entrenamiento de la fuerza se expresa como porcentaje del peso máximo que un individuo puede levantar y se denomina 1 repetición máxima (1RM). También se expresa como el número de repeticiones que producen el fallo del músculo tal como 3RM. Obviamente existe una relación inversa entre el peso que se levanta y el número de repeticiones que producen el fallo del músculo.

Se ha sugerido que la síntesis de proteínas se estimula estresando los sistemas de energía del músculo para producir un desplazamiento significativo con respecto a la situación de reposo (39)

Se ha observado que una variedad de cargas de entrenamiento y repeticiones subsiguientes aumentan el CSA del músculo. Se ha demostrado que la hipertrofia muscular se produce en individuos que entrenan con cargas de 6RM o superiores; (40, 41) sin embargo, se ha observado que los mayores aumentos en CSA se producen con cargas de 8 a 12RM (39, 42-45). Si bien se ha demostrado que cargas de RM más livianas (12 a 15RM) aumentan el CSA, (46-48) Sale y MacDougall, (47) y Arnett (48) han sugerido que la respuesta hipertrofica disminuye a medida que la carga de RM se vuelve mas liviana y el número de repeticiones supera las 15 (Figura 2).



Por consiguiente, para inducir la hipertrofia muscular, la mayoría de los entrenadores recomienda entrenar con cargas de 8 a 12RM (49, 50) además, la hipertrofia muscular también se optimiza cuando existe un volumen de entrenamiento suficiente y se realizan múltiples ejercicios para cada grupo muscular (51). El tiempo bajo tensión, tal como lo refleja el ritmo de las acciones excéntricas y concéntricas, también se considera un factor importante para aumentar el CSA del músculo (40). También se ha observado que un protocolo de carga de 8 a 10RM produjo los mayores niveles circulantes de hormona de crecimiento (GH), lo que ha sido asociado con la síntesis de proteínas (52).

El entrenamiento en cargas más altas (4 a 6RM) produjo mayor contracción voluntaria máxima (MVC) en ausencia de hipertrofia muscular significativa (53). Tales aumentos en la generación de fuerza se atribuyen a adaptaciones neurales que incluyen una mayor activación de unidades motoras (MUA), más frecuencia de activación de unidades motoras más rápida, mayor sincronización y disminución en la co-contracción de antagonistas (16). Kraemer et al. (54) sugirieron que cuando el estímulo de entrenamiento promueve un aumento en el área transversal (CSA), las contribuciones de los mecanismos neurales para forzar la producción disminuyen. Sin embargo, si el estímulo de entrenamiento no alcanza el volumen suficiente para estimular la hipertrofia (se sugiere que debe ser >90% de 1RM), se producen mayores adaptaciones neurales.

Schmidtbleicher y Buehle (53) demostraron que aunque el entrenamiento de la fuerza de baja intensidad y de alta intensidad producen aumentos similares en MVC (21 y 18%, respectivamente) la contribución de la adaptación neural y de la hipertrofia muscular son diferentes entre las 2 intensidades de carga. La intensidad de entrenamiento alta provocó una

mayor tasa de desarrollo de fuerza, y se considera que refleja adaptación neural (34% en comparación con 4%), mientras que el entrenamiento de baja intensidad provocó un aumento mayor en el tamaño del músculo (7% en comparación con 3%). Hakkinen et al. (55) también demostraron que la intensidad de entrenamiento alta producía una adaptación neural mayor, tal como se refleja en una mayor actividad en el electromiograma.

En resumen, la fuerza muscular puede ser aumentada por cambios en el área transversal del músculo a partir de la síntesis de proteínas y de las adaptaciones neurales que aumentan la activación de unidades motoras (MUA). Las variaciones en la intensidad y en el protocolo del entrenamiento provocarían adaptaciones neuromusculares diferentes. Las cargas altas (3 a 6 RM) y el volumen bajo se asocian con un aumento en la generación de fuerza sin un aumento en el tamaño del músculo, lo que se relaciona con adaptaciones neurales. La hipertrofia muscular se produce con entrenamiento con cargas más bajas (8 a 12RM) y mayor volumen de resistencia y se produce gracias a una mayor síntesis de proteínas en las fibras musculares. Por consiguiente, los diferentes protocolos de entrenamiento aumentarían la fuerza a través de adaptaciones fisiológicas diferentes. Al analizar la interferencia potencial entre el entrenamiento simultáneo de la fuerza y de la potencia aeróbica sería importante identificar el protocolo de entrenamiento utilizado para aumentar la fuerza.

Modelo para el “Fenómeno de la Interferencia”.

Está claro que no hay ningún enfoque sistemático para investigar el fenómeno de la interferencia, con referencia especial sobre los componentes de la fuerza y la potencia aeróbica. Se ha sugerido que los laboratorios individuales se enfocan en un modelo de entrenamiento particular y realizan una serie de investigaciones utilizando su modelo (5). Sobre la base de las adaptaciones fisiológicas que se producen como resultado de los diferentes protocolos de entrenamiento utilizados para aumentar la fuerza y la potencia aeróbica es posible proponer un modelo que pueda proporcionar una metodología para estudiar sistemáticamente el tema del “fenómeno de la interferencia”.

La Figura 3 muestra un modelo que podría permitir el desarrollo de hipótesis que puedan predecir los protocolos de entrenamiento que minimizarán o aumentarán al máximo el efecto de la interferencia al entrenar simultáneamente la fuerza y la potencia aeróbica. También sería posible construir otros modelos que permitan un estudio sistemático de los efectos de interferencia entre otros atributos fisiológicos. Los investigadores deben comprender la necesidad de definir claramente las variables de entrenamiento y seleccionar deliberadamente los protocolos de entrenamiento en relación con las mismas.

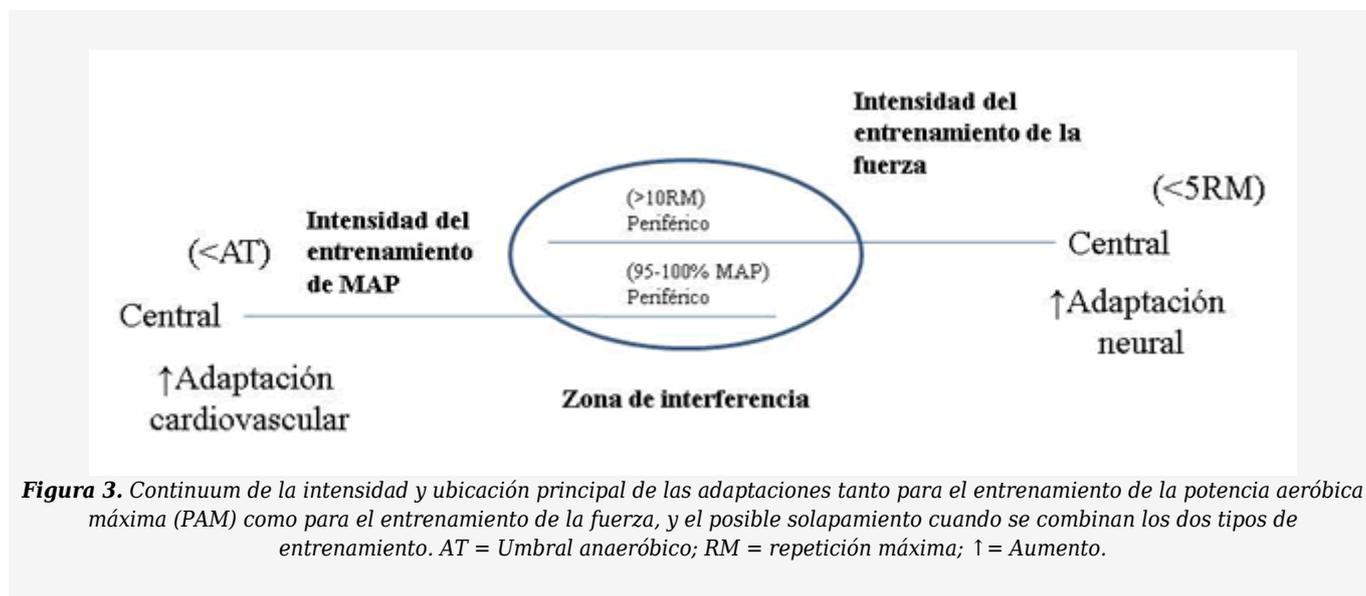


Figura 3. Continuum de la intensidad y ubicación principal de las adaptaciones tanto para el entrenamiento de la potencia aeróbica máxima (PAM) como para el entrenamiento de la fuerza, y el posible solapamiento cuando se combinan los dos tipos de entrenamiento. AT = Umbral anaeróbico; RM = repetición máxima; ↑ = Aumento.

El modelo propuesto para el estudio del entrenamiento simultáneo de la fuerza y la potencia aeróbica se ha enfocado principalmente en el manejo de la intensidad del entrenamiento, con cierta inferencia de que existe una relación inversa entre la intensidad y el volumen de entrenamiento. Normalmente, a medida que la intensidad de entrenamiento aumenta (resistencia y % VO_{2max} en el contexto de fuerza y potencia aeróbica, respectivamente), el volumen disminuye (series y repeticiones). A partir del modelo podríamos plantear la hipótesis que la interferencia sería máxima cuando los atletas utilicen el entrenamiento intervalado de alta intensidad para mejorar la potencia aeróbica y un protocolo de entrenamiento de la fuerza de múltiples series con 8 a 12RM para aumentar la fuerza. El protocolo de entrenamiento de la fuerza buscaría aumentar la síntesis de proteínas en el músculo y estresar el sistema de energía anaeróbico con aumentos

correspondientes en el lactato muscular. El entrenamiento intervalado aeróbico crearía hipoxia muscular, lo que haría que el músculo aumente su capacidad oxidativa. En esta situación el músculo debería adaptarse fisiológica y anatómicamente de diferentes maneras. Lo que podría reducir la adaptación de uno de los sistemas.

Si el entrenamiento aeróbico intervalado se combinara con entrenamiento de la fuerza de alta intensidad (3 a 6RM), el modelo podría predecir menos interferencia porque el estímulo de entrenamiento para aumentar la fuerza estresaría el sistema neural y no provocaría demandas metabólicas en el músculo. Probablemente el músculo podría aumentar su capacidad oxidativa sin afectar las adaptaciones neurales tales como una mayor frecuencia de activación, una sincronización más eficaz de unidades motoras, una menor inhibición y co-contracción de músculos antagonistas.

Se estima que los entrenamientos aeróbicos continuos tendrían interferencia mínima en el desarrollo de fuerza ya sea utilizando protocolos de entrenamiento de la fuerza con carga alta o carga media. Las adaptaciones fisiológicas asociadas con el entrenamiento continuo estarían reguladas centralmente, lo que involucraría un aumento en Q, hemoglobina y una mayor difusión pulmonar. Por consiguiente, no debería interferir ni con la adaptación neural ni con la hipertrofia muscular porque la ubicación de la adaptación fisiológica y la respuesta metabólica sería diferente.

EVALUACIÓN DEL MODELO

Un paso inicial sería evaluar el modelo en relación a la literatura actual que ha investigado el entrenamiento concurrente de la fuerza y la potencia aeróbica. Lamentablemente, muchos estudios no describen claramente los protocolos de entrenamiento, sobre todo con respecto a la intensidad y volumen de entrenamiento. Además, las modalidades de ejercicio, la duración del entrenamiento y la experiencia en el entrenamiento de los participantes varían entre los estudios y algunos estudios utilizaron una estrategia "periodizada" modificada y han cambiado el protocolo de entrenamiento durante el período de entrenamiento. Tales variaciones en el diseño del estudio dificultan la aplicación de las investigaciones al modelo. Por esta razón para valorar este modelo solo se incluyeron los estudios con protocolos de entrenamiento relativamente detallados y parámetros de carga consistentes.

El apoyo para el modelo fue proporcionado por McCarthy et al (11) quienes realizaron un estudio en el cual individuos desentrenados entrenaron durante 10 semanas con un protocolo con 3 series de 5 a 7RM, 3 veces por semana para aumentar la fuerza. Los entrenamientos aeróbicos consistieron en 45 minutos de ciclismo continuo a 75% de la frecuencia cardíaca de reserva durante 3 días por semana. Ni el entrenamiento de la fuerza ni el entrenamiento aeróbico fueron realizados en intensidades que pudieran maximizar la interferencia según el modelo.

No se comprometió ni el VO_{2max} ni la fuerza en comparación a cuando se entrenaban por separado la fuerza y la potencia aeróbica. El VO_{2max} aumentó significativamente tanto en el grupo que realizó el entrenamiento aeróbico separado como en el grupo que realizó el entrenamiento simultáneo (18 y 16%, respectivamente). La fuerza aumentó significativamente tanto en el grupo que realizó solo el entrenamiento de la fuerza como en el grupo que realizó el entrenamiento simultáneo (23 y 22% para 1RM en sentadillas, respectivamente, y 18% para 1RM en press de banca en ambos grupos).

Las respuestas fisiológicas de 19 mujeres activas, a 11 semanas de entrenamiento simultáneo de fuerza y de resistencia fueron comparadas con las obtenidas con entrenamiento de la fuerza solo (56). Además, la mitad del grupo de entrenamiento simultáneo realizó el entrenamiento de la resistencia antes del entrenamiento de la fuerza y la otra la mitad del grupo realizó el entrenamiento de la fuerza antes del entrenamiento de resistencia. El manejo de la secuencia de entrenamiento fue realizado para controlar los posibles efectos de la fatiga aguda. El entrenamiento de resistencia consistió en remar a 70% del VO_{2max} 3 veces por semana. El entrenamiento de la fuerza consistió en 45 minutos de 5 a 6 ejercicios para el tren inferior del cuerpo efectuados en 2 a 4 series de 10 repeticiones durante el período de entrenamiento. Tal como se preveía en el modelo, no se observaron efectos negativos en el entrenamiento de la fuerza en las mujeres que entrenaron de manera simultánea la fuerza y la resistencia. Además, la secuencia de entrenamiento no afectó el desarrollo de fuerza pero podría haber limitado el PAM.

Los resultados de Nelson y colegas (8) quienes entrenaron durante 20 semanas individuos desentrenados, aportan un apoyo parcial al modelo. El entrenamiento de la fuerza consistió en 6 extensiones de piernas isocinéticas máximas a 30° por segundo con 3 series, 4 veces por semana, lo que sería considerado como entrenamiento neural en el contexto del modelo propuesto.

El entrenamiento aeróbico consistió en ciclismo en intensidades y duración crecientes durante 6 semanas y durante el período de entrenamiento restante pedalearon a 85% de HRmax durante 60 minutos (aprox. 75% del VO_{2max}) lo que sería considerado como entrenamiento continuo.

Tal como se preveía dado el modelo, el aumento de la fuerza en el grupo que realizó el entrenamiento simultáneo no fue afectado en comparación con los aumentos observados en el grupo que sólo realizó entrenamiento de la fuerza. Sin embargo, después de 11 semanas, el grupo que sólo realizó entrenamiento aeróbico continuó presentando aumentos significativos en VO_{2max} mientras que el grupo que realizó los entrenamientos simultáneos no cambió. Es posible que el grupo que realizó los entrenamientos simultáneos haya optimizado el efecto del entrenamiento continuo de baja intensidad y necesitara un estímulo de entrenamiento diferente de mayor intensidad.

El modelo propuesto no concuerda con los resultados de Dudley y Djamil (13). Aplicando los protocolos usados en su estudio, el modelo pronosticaría un compromiso de los efectos del entrenamiento, pero de hecho tanto el grupo de entrenamiento simultáneo como el grupo de entrenamiento de la fuerza presentaron aumentos significativos en la fuerza en 0, 0,84 y 1,68 rads/seg. Lamentablemente no se informó ninguna comparación estadística directa entre los grupos. Según el modelo el protocolo de fuerza de 2 series de 26 a 28 contracciones en un dinamómetro isocinético a 4,19 rads/seg y un programa de entrenamiento intervalado aeróbico en una bicicleta ergométrica con 5 intervalos de 5 minutos en el VO_{2max} debería haber producido alguna interferencia o debería haber afectado el efecto de entrenamiento. Sin embargo, aunque no se discutió, los individuos que realizaron el entrenamiento simultáneo presentaron aumentos reales en el torque máximo que fueron 6% mas bajos en las 3 velocidades que los de individuos que solo realizaron el entrenamiento de la fuerza. Además, el ejercicio isocinético no carga al músculo excéntricamente, lo que se considera como un estímulo importante para la hipertrofia muscular (39). Por consiguiente, el músculo podría no haber estado óptimamente tensionado en comparación con el ejercicio dinámico contra una resistencia constante (DCER) (17). Adicionalmente, Dudley y Djamil (13) no reportaron cambios en la hipertrofia muscular. El entrenamiento a velocidad relativamente alta, que no colocaría al musculo bajo una tensión optima para producir hipertrofia muscular, aporta confusión a los resultados del estudio en el contexto del modelo.

Craig y colegas (28) utilizaron un programa de entrenamiento de la fuerza con 3 series de 6 a 8 repeticiones, 3 veces por semana que se esperaría que produzca adaptaciones neurales e hipertróficas. El entrenamiento aeróbico consistió en carrera continua durante 35 minutos a 75% de HRmax, lo que debería producir adaptaciones en el sistema cardiopulmonar. Sobre la base del modelo, se esperaría un efecto de interferencia moderado. Aunque Craig y colegas concluyeron a partir de sus resultados que los entrenamientos simultáneos inhibieron el aumento optimo de la fuerza, el cambio porcentual en press de piernas fue similar en los individuos que realizaron solo entrenamiento de la fuerza y los que realizaron entrenamiento simultáneo, y fue 5,8 y 4,6%, respectivamente. Además, el entrenamiento de la fuerza para los individuos que entrenaron tanto la fuerza como la potencia aeróbica fue realizado 5 minutos después del entrenamiento aeróbico. Los autores sugirieron que la falta de descanso, y la fatiga residual podrían haber impactado bien en la calidad del entrenamiento de la fuerza y en el efecto de entrenamiento subsecuente.

En un reciente estudio, (57) 45 varones y mujeres fueron asignados al azar a uno de 4 grupos; grupo que realizó solo entrenamiento de la fuerza (S), grupo que realizó solamente entrenamiento de resistencia (E), grupo que realizó entrenamiento concurrente de fuerza y de resistencia (SE), o grupo control. La intensidad de la fuerza aumentó 4% cada 3 semanas (con una media de 72 a 84% 1RM). Las series y repeticiones variaron de 4 a 12, y 2 a 6, respectivamente. El entrenamiento de resistencia consistió en 2 sesiones de entrenamiento por semana, de entrenamiento continuo que comenzó a 30 minutos y progresó a 42 minutos con una intensidad fijada en el umbral ventilatorio (VT); y 1 sesión de entrenamiento aeróbico intervalado por semana con una relación entre descanso-trabajo de 3 minutos de ejercicio y 3 minutos de descanso activo. La intensidad fue equivalente a 90% de VO_{2max} y comenzó con 4 series y aumentó a 7 series. Los grupos E y SE presentaron un aumento en VO_{2max} . La fuerza de press de piernas y la fuerza de extensión de la rodilla (1RM) aumentaron en los grupos S y SE pero los aumentos en la extensión de la rodilla fueron mayores en el grupo S que en todos los otros grupos. Los autores concluyeron que sus resultados indicaban alguna interferencia con el desarrollo de fuerza que podría ser específica de patrones de movimiento particulares. La naturaleza híbrida de la fuerza y de los protocolos de entrenamiento aeróbico podría haber contribuido con los resultados ambiguos y dificultan la interpretación en el contexto del modelo propuesto.

CONCLUSION

Se ha sugerido que el entrenamiento concurrente de la fuerza y potencia aeróbica afecta el desarrollo de la fuerza en comparación con el entrenamiento de la fuerza solo. El desarrollo de la potencia aeróbica durante el entrenamiento concurrente se vería relativamente poco afectado. El entrenamiento comprometido ha sido denominado como fenómeno de interferencia. Según Kraemer y Nindl (6) el fenómeno es el resultado del sobreentrenamiento. Sin embargo, los resultados contradictorios presentes en la literatura sugieren que esta conclusión es probablemente una simplificación excesiva. La falta de aplicación sistemática de las variables de entrenamiento dificulta el planteo de cualquier conclusión definitiva. Se

ha propuesto un modelo, basado en las adaptaciones fisiológicas a los protocolos de entrenamiento específicos, que podría aportar una mayor comprensión del fenómeno de interferencia. El modelo predice los protocolos de entrenamiento que probablemente minimizarán o maximizarán el nivel de interferencia.

REFERENCIAS

1. Fry R, Morton A, Keast D. (1992). Periodization of training stress: a review. *Can J Sport Sci*; 17(3): 234-40
2. Bell G, Syrotuik D, Socha T, et al. (1997). Effects of strength training or concurrent strength and endurance training on strength, testosterone, and cortisol. *J Strength Cond Res*; 11(1): 57-64
3. Chromiak J, Mulvaney D. (1990). A review: the effects of combined strength and endurance training on strength development. *J Appl Sport Sci Res*; 4(2): 55-60
4. Kraemer W, Patton J, Gordon S, et al. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol*. 78(3): 976-89
5. Leveritt M, Abernethy P, Barry B, et al. (1999). Concurrent strength and endurance training: a review. *Sports Med*; 28(6): 413-27
6. Kraemer W, Nindl B. (1998). Factors involved with overtraining for strength and power. In: Kreider R, Fry A, O'Toole M, editors. *Overtraining in sport. Champaign (IL): Human Kinetics: 69-86*
7. Hickson R. (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol*; 45:255-63
8. Nelson A, Arnall D, Loy S, et al. (1990). Consequences of combining strength and endurance training regimens. *Phys Ther*; 70(5): 287-94
9. Hennessey L, Watson A. (1994). The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *J Strength Cond Res*; 8(1): 12-9
10. 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(3): 269-75
11. McCarthy J, Agre J, Graf B, et al. (1995). Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc*; 27(3): 429-36
12. Abernethy P, Quigley B. (1993). Concurrent strength and endurance training of the elbow flexors. *J Strength Cond Res*; 7(4): 234-40
13. Dudley G, Djamil R. (1985). Incompatibility of endurance and strength training modes of exercise. *J Appl Physiol*; 59(4): 1446-51
14. Sale D, MacDougall J, Jacobs I, et al. (1990). Interaction between concurrent strength and endurance training. *J Appl Physiol*; 68(1): 260-70
15. Bell G, Pedersen SR, Wessel J, et al. (1991). Physiological adaptations to concurrent endurance training and low velocity resistance training. *Int J Sports Med*; 12(4): 384-90
16. Sale D. (1992). Neural adaptation to strength training. In: Komi P, editor. *Strength and power in sport. Oxford: Blackwell Scientific Publications: 249-65*
17. Fleck S, Kraemer W. (1997). Designing resistance training programs. 2nd ed. Champaign (IL): Human Kinetics.
18. Thoden J. (1991). Testing aerobic power. In: MacDougall J, Wenger H, Green H, editors. *Physiological testing of the high-performance athlete. 2nd ed. Champaign (IL): Human Kinetics: 107-73*
19. MacDougall D, Sale D. (1981). Continuous vs interval training: a review for the athlete and the coach. *Can J Appl Sport Sci*; 6(2): 93-7
20. Sutton J. (1992). VO₂max new concepts on an old theme. *Med Sci Sports Exerc*; 24(1): 26-9
21. Holloszy J, Coyle E. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol*; 56(4): 831-8
22. Brodal P, Ingjer F, Hermansen L. (1977). Capillary supply of skeletal muscle fibers in untrained and endurance-trained men. *Am J Physiol*; 232(6): H705-12
23. Hoppeler H, Howald H, Conely K, et al. (1985). Endurance training in humans: aerobic capacity and structure of skeletal muscle. *J Appl Physiol*; 59(2): 320-7
24. Hoffman R. (1999). Effects of training at the ventilatory threshold and performance in trained distance runners. *J Strength Cond Res*; 13(2): 118-23
25. Fox E, Bartels R, Billings C, et al. (1975). Frequency and duration of interval training programs and changes in aerobic power. *J Appl Physiol*; 38(3): 481-94
26. Eddy D, Sparks K, Adelizi D. (1977). The effects of continuous and interval training in women and men. *Eur J Appl Physiol*; 37: 83-92
27. Wenger H, Bell G. (1986). The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med*; 3: 346-56
28. Craig B, Lucas J, Pohlman R, et al. (1991). The effects of running, weightlifting and a combination of both on growth hormone release. *J Appl Sport Sci Res*; 5(4): 198-203
29. Cunningham D, McCrimmon D, Vlach L. (1979). Cardiovascular response to interval and continuous training in women. *Eur J Appl Physiol*; 41: 187-97
30. Åstrand P-O, Rodahl K. (1986). Textbook of work physiology: physiological bases of exercise. 3rd ed. New York: McGraw-Hill
31. Terrados N. (1992). Altitude training and muscle metabolism. *Int J Sports Med*; 13(Suppl. 1): S206-9

32. Bhambhani Y, Buckley S, Susaki T. (1997). Detection of ventilator threshold using near infrared spectroscopy in men and women. *Med Sci Sports Exerc*; 29(3): 402-9
33. Belardinelli R, Varstow TJ, Porszasz J, et al. (1995). Changes in skeletal muscle oxygenation during incremental exercise measured with near infrared spectroscopy. *Eur J Appl Physiol*; 70: 487-92
34. Bhambhani Y, Buckley S, Susaki T (1999). Muscle oxygenation trends during constant work rate cycle exercise in men and women. *Med Sci Sport Exerc*; 31(1): 90-8
35. Dudley G, Abraham W, Terjung R. (1982). Influence of exercise intensity and duration on biochemical adaptations in skeletal muscle. *J Appl Physiol*; 53(4): 844-50
36. Lehninger A, Nelson D, Cox M. (1982). Principles of biochemistry. 2nd ed. New York: Worth
37. Goldspink G. (1992). Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. In: Komi P, editor. *Strength and power in sport*. Oxford: Blackwell Scientific Publications: 249-65
38. Wilson G. (1995). Disinhibition of the neural system: uses in programming, training, and competition. *Strength Cond Coach*; 3(3): 3-5
39. Houston M. (1999). Gaining weight: the scientific basis of increasing skeletal muscle mass. *Can J Appl Physiol*; 24(4): 305-16
40. Schott J, McCully K, Rutherford O. (1995). The role of metabolites in strength training. *Eur J Appl Physiol*; 71: 337-41
41. Davies J, Parker P, Rutherford O, et al. (1988). Changes in strength and CSA of the elbow flexors as a result of isometric strength training. *Eur J Appl Physiol*; 57: 667-70
42. Narici M, Keyser B. (1995). Hypertrophic response of human skeletal muscle to strength training in hypoxia and normoxia. *Eur J Appl Physiol*; 70: 213-9
43. Narici M, Roi G, Landoni L, et al. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur J Appl Physiol*; 59:310-9
44. McCall G, Byrnes W, Dickinson A, et al. (1996). Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *J Appl Physiol*; 81 (5): 2004-12
45. Kawakami Y, Abe T, Kune S, et al. (1995). Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur J Appl Physiol*; 72: 37-43
46. Jackson C, Dickenson A, Rinel S. (1990). Skeletal muscle fiber area alterations in two opposing modes resistance exercise training in the same individual. *Eur J Appl Physiol*; 61: 37-41
47. Sale D, MacDougall J. (1991). Specificity in strength training: a review for coaches. *Can J Appl Sports Sci*; 6(2): 87-92
48. Arnett M. (1993). A review of concurrent strength and endurance training. *Sports Sci Periodical Res Technol Sport*; 13(2): 1-6
49. Poliquin C. (1991). Training for improving relative strength. *Sci Period Res Technol Sport (SPORTS)*; 11(7): 1-9
50. Schmidtbleicher D. (1985). Strength training. Part 1: classification of methods. *Sci Period Res Technol Sport (SPORTS)*.Aug: 1-12
51. Baker D, Wilson G, Carolyn R. (1994). Periodization: the effect on strength of manipulating volume and intensity. *J Strength Cond Res*; 8(4): 235-42
52. Kraemer W, Marchitelli J, Gordon L, et al. (1990). Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol*; 69: 1442-50
53. Schmidtbleicher D, Buerle M. (1987). Neuronal adaptations and increases of cross-sectional area studying different strength training methods. *Biomechanics*; 6B: 615-20
54. Kraemer W, Fleck S, Evans W (1996). Strength and power training: physiological mechanisms of adaptation. In: Holloszy J, editor. *Exercise and sports science reviews*. Baltimore: Williams and Wilkins: 363-93
55. Hakkinen K, Komi P, Alen M, et al. (1987). EMG, muscle fiber and force production characteristics during a 1 year period in elite weight-lifters. *Eur J Appl Physiol*; 556: 419-27
56. Gravelle B, Blessing D. (2000). Physiological adaptation in women concurrently training for strength and endurance. *J Strength Cond Res*; 14(1): 5-13
57. Bell G, Syrotuik D, Martin T, et al. (2000). Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur J Appl Physiol*; 81 (5): 418-27

Cita Original

David Docherty and Ben Sporer .A Proposed Model for Examining the Interference Phenomenon between Concurrent Aerobic and Strength Training. *Sports Med*. Dec; 30 (6): 385-394. 2000