

Article

Entrenamiento Concurrente de Fuerza y Resistencia: Una Revisión

Michael Leveritt¹, Peter J. Abernethy², Benjamin K. Barry² y Peter A. Logan³¹Centre for Sport and Exercise Science, Waikato Polytechnic. Hamilton, New Zealand.²Department of Human Movement Studies. University of Queensland, Brisbane, Queensland, Australia.³Department of Exercise Physiology and Applied Nutrition. Australian Institute of Sport, Canberra, Australian Capital Territory, Australia.

RESUMEN

El entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia parece inhibir el desarrollo de la fuerza cuando es comparado con el entrenamiento de la fuerza exclusivamente. Nuestra comprensión de la naturaleza de esta inhibición y los mecanismos responsables en la actualidad es limitada. Esto es debido a las dificultades asociadas al comprarse con resultados de estudios que difieren notablemente en varios factores de diseño, incluyendo el modo, frecuencia, duración e intensidad del entrenamiento, historia de entrenamiento de los participantes, formas de entrenamiento de las sesiones y la selección de la variable dependiente. A pesar de estas dificultades, se han propuesto hipótesis crónicas y agudas para explicar el fenómeno de inhibición de la fuerza durante el entrenamiento concurrente. La hipótesis crónica sostiene que el músculo esquelético no puede adaptarse metabólicamente o morfológicamente simultáneamente a ambos tipos de entrenamiento de la fuerza y de la resistencia. Esto es porque muchas adaptaciones observadas a nivel muscular en respuesta al entrenamiento de la fuerza son diferentes de aquellas observadas después del entrenamiento de la resistencia. La observación de que los cambios en el tipo de fibra muscular y tamaño después del entrenamiento concurrente son diferentes de aquellos observados después del entrenamiento de la fuerza apoya a la hipótesis crónica. La hipótesis aguda sostiene que la fatiga residual a partir del componente de resistencia del entrenamiento concurrente, compromete la capacidad para desarrollar la tensión durante el elemento de fuerza del entrenamiento concurrente. Se propone que reducciones agudas repetidas en la calidad de las sesiones del entrenamiento de la fuerza entonces llevan a una reducción en el desarrollo de la fuerza con el tiempo. Los factores de fatiga periférica como el daño muscular y el vaciamiento del glucógeno han sido implicados como posibles mecanismos de fatiga asociados con la hipótesis aguda. Una investigación aún más sistemática es necesaria para cuantificar los efectos inhibitorios del entrenamiento concurrente sobre el desarrollo de la fuerza e identificar métodos de entrenamiento diferentes que pueden superar cualquier efecto negativo del entrenamiento concurrente.

Palabras Clave: entrenamiento concurrente, entrenamiento de la fuerza, entrenamiento de la resistencia, adaptaciones

Atletas involucrados en muchos deportes a menudo realizan el entrenamiento de la fuerza y de la resistencia simultáneamente en un esfuerzo por lograr adaptaciones específicas de ambas formas de entrenamiento. A la fecha, los datos que investigan las adaptaciones neuromusculares y las mejoras del rendimiento asociadas con el entrenamiento de la fuerza y de la resistencia concurrente (como consecuencia, definido como entrenamiento concurrente) ha producido resultados incoherentes.

Algunos estudios han demostrado que el entrenamiento concurrente inhibe el desarrollo de la fuerza e impulsa pero no afecta el desarrollo del fitness aeróbico cuando es comparado con cualquier modo de entrenamiento solo.[1-5] Otros estudios han demostrado que el entrenamiento concurrente no tiene efecto inhibitorio en el desarrollo de la fuerza o de la resistencia.[6-9] Sin embargo, también se ha demostrado que el desarrollo del fitness aeróbico es comprometido por el entrenamiento concurrente.[10] Las diferencias en la literatura acerca del entrenamiento concurrente, muy probablemente

derivan del uso de diferentes protocolos del entrenamiento en cada estudio individual.

Por ejemplo, algunos estudios han usado protocolos con entrenamiento isocinético de la fuerza,[2,8,10] mientras otros han empleado el entrenamiento de la fuerza isoinercial. [1,3-6,9] La naturaleza del entrenamiento de la resistencia también difiere entre los estudios. La carrera,[3-5] el pedaleo,[2,6,9,10] remo,[7,11] pedaleo de brazos[8] y una combinación de carrera y pedaleo[1] todos han sido realizado como componentes del entrenamiento de la resistencia de varios estudios de entrenamiento concurrente. Para complicar aún más, muchos de los protocolos de entrenamiento concurrente difieren en el volumen, la intensidad y la velocidad de la contracción muscular. Finalmente, la edad de entrenamiento de los participantes del estudio ha diferido entre los estudios. El propósito de este artículo es repasar la literatura sobre entrenamiento concurrente para identificar las limitaciones de la investigación, discutir las distintas hipótesis propuestas para explicar los resultados de la investigación y concluir con sugerencias para la investigación futura.

1. Estudios del Entrenamiento Concurrente

Las investigaciones en relación con los efectos del entrenamiento concurrente típicamente han comparado los cambios en las variables de fuerza y de resistencia después del entrenamiento de la fuerza, entrenamiento de la resistencia y entrenamiento de la fuerza y de la resistencia concurrente (ver Tablas I, II y III). Probablemente, el hallazgo más consistente que surge es que de la literatura del entrenamiento concurrente los aumentos en la fuerza y potencia durante el entrenamiento concurrente están reducidos cuando es comparado con el entrenamiento de la fuerza sólo.[1-5,12-15]

Autor	Diseño/rutina de entrenamiento	Hallazgos	Comentarios
Hickson y cols. (1)	10 semanas de entrenamiento, 5 días por semana Grupo F: múltiples series de 5 repeticiones, cargas >80% 1RM, rango de ejercicios de miembro inferior. Grupo R: pedaleo y carrera de alta intensidad	Grupo F ↑ por un margen mayor que grupo C; ↑ VO _{2máx} R ≈ C	
Dudley y Djamil (2)	7 semanas de entrenamiento, 3 días por semana, Grupo F: 2 series de 30 segundos de tensiones isocinéticas de rodillas 4.19 rad ⁻¹ Grupo R: cicloergometría de intervalos de 5x5 minutos, al 40% a 100% VO _{2máx} . Grupo C: F y R, en días alternados.	Participantes del grupo F ↑ el torque pico a velocidades hasta e incluso la velocidad de entrenamiento; Grupo C ↑ el torque pico a velocidades más lentas (0 a 1.68 rad·seg ⁻¹) solamente; ↑ VO _{2máx} R ≈ C	
Hunter y cols. (12)	12 semanas de entrenamiento 4 sesiones de F y/o 4 sesiones de R por semana Grupo C entrenó F seguido por R, en el mismo día, 2 veces por semana, solamente 1 modalidad de entrenamiento, los otros 4 días restantes Grupo F: 3 series de 7 a 10 repeticiones, ejercicios de tren superior e inferior, Grupo R: carrera al 75% FC, durante 20 a 40 minutos.	El grupo C con entrenamiento de Fza isoinercial y carrera de resistencia no inhibieron la 1RM de sentadilla o del press de banco, pero el ↑ de la Altura del salto vertical no fue mayor en el grupo C como el grupo F; ↑ VO _{2máx} R ≈ C; el grupo adicional de entrenado en R produjo similares de fuerza y potencia al del grupo F	Un mayor análisis de los datos de 1RM sentadilla usando la estadística del efecto de tamaño (12) hizo pensar en mejoras para el grupo F donde fueron aproximadamente el doble del tamaño del efecto observado para el grupo C; el estado de entrenamiento pudo influir en las adaptaciones al entrenarse en C
Hennessy y Watson (4)	8 semanas de entrenamiento, 5 días por semana, Grupo de C y F: 3 días por semana, periodizado, al 70 a 105% 1RM Grupo R: 4 días por semana carrera, (3 sesiones continuo, 1 fartleck) Grupo C: irregular, F y R el mismo día, dos veces por semana (orden no reportado), 1 día F sólo y 2 días R sólo	Desarrollo de F comprometido en el inferior, pero no en tren superior, El grupo F mejoró el tiempo de sprint de 20m y altura del salto vertical, mientras que el grupo C no mejoró en estas medidas; ↑ VO _{2máx} R ≈ C	56 jugadores varones de rugby con experiencia en entrenamiento con pesas; se reforzaron los efectos inhibitorios confinados a los miembros entrenados simultáneamente
Kraemer y cols. (5)	12 semanas de entrenamiento con 4 planes. Grupo: C, F y R; grupo C: R y tren superior solamente Fza F; F sólo y R sólo Grupo C: 4 días por semana, F y R el mismo día; Grupo R: carrera, al 80-100% VO _{2máx} Grupo F: rutina dividida, fuerte/liviana 4 días, 3x 10RM y 5x 5RM	1RM en F se inhibió en el grupo C; solamente el grupo F ↑ el rendimiento en Wingate; ↑ VO _{2máx} R ≈ C	35 varones de una única base del Ejército de EEUU

Tabla 1. Interferencia en el desarrollo de la fuerza C = concurrente; R = resistencia; F = fuerza; ES = tamaño del efecto; FCres = frecuencia cardíaca de reserva; MR = máximas repeticiones; VO₂ = consumo máximo de oxígeno; ↑ = aumento

Sin embargo, esto no siempre es el caso. Nelson y cols.[10] reportaron que las mejoras en el consumo máximo de oxígeno (VO_{2máx}) durante la segunda mitad de un programa de entrenamiento de 20 semanas, se vieron comprometidas durante el entrenamiento concurrente, cuando era comparado con el entrenamiento de la resistencia exclusivamente. Es más, varios estudios no han encontrado ninguna interferencia para el desarrollo de la fuerza o de la resistencia, como consecuencia del entrenamiento concurrente. [6-9,11]

La investigación actual indica que el entrenamiento concurrente puede, de vez en cuando, inhibir el desarrollo de la fuerza y de la resistencia. Es difícil hacer afirmaciones claras, ya que bajo qué condiciones tal inhibición ocurre, en tanto hay diferencias significativas en el diseño de los estudios del entrenamiento concurrentes. Algunos de estos temas de diseño se discuten en las siguientes subdivisiones.

1.1 Selección de la variable dependiente

¿Por qué la atenuación de la fuerza o del rendimiento de resistencia es sólo evidente en algunos estudios de entrenamiento concurrente? Típicamente, la variación entre los estudios se atribuye a las diferencias en las intervenciones del entrenamiento concurrente y/o de los participantes. Sin embargo, también debe considerarse la posibilidad de que algunas variables dependientes pueden ser más sensibles que otras a los efectos del entrenamiento concurrente. Nosotros recientemente completamos una investigación que aborda esta pregunta (datos inéditos). Específicamente, nosotros comparamos la sensibilidad de los índices de fuerza isoinercial, isométrico e isocinética a los efectos de 6 semanas de entrenamiento de la fuerza, la resistencia y de la fuerza y resistencia en forma concurrente. El entrenamiento de la fuerza y de la resistencia abarcaba 3 series de ejercicios de tren superior y tren inferior [4 a 10 máximas repeticiones (MR)], y 5 turnos de 5 minutos de pedaleo (40 al 100% O₂máx), respectivamente. Los parámetros de fuerza medidos antes y después del entrenamiento

eran 1RM de media sentadilla, la fuerza de extensión de piernas isométrica máxima a 0.78 rad de la extensión completa, y los torques de la extensión isocinética máxima a 0.52 rad de la extensión completa a 1.04, 3.12, 5.20 y 8.67 rad·seg⁻¹. La fuerza, resistencia y el entrenamiento concurrente diferencialmente afectaron cada índice de fuerza. Así, fue evidente que hubo diferencias de hecho en el nivel de sensibilidad en las variables dependientes, como consecuencia del entrenamiento de la fuerza, de la resistencia y el entrenamiento concurrente. Estos resultados refuerzan la noción de que varios índices de fuerza no controlan eventos mecánicos similares.[16] Por lo tanto, se indica que la selección de la variable dependiente puede afectar la interpretación de los datos del entrenamiento concurrente y otros.

1.2 Modalidad del Entrenamiento de Fuerza

La mayoría de los estudios del entrenamiento concurrente que involucran el entrenamiento de la fuerza isoinercial demuestran una inhibición en el desarrollo de la fuerza.[1-5,12] Esta inhibición parece ser limitada a la musculatura involucrada en los componentes tanto del entrenamiento de la fuerza como de la resistencia del programa de entrenamiento concurrente.[3-5,12] Es más, todos menos uno[9] de los estudios que involucran el entrenamiento de la fuerza isoinercial, que ha medido índices de la potencia muscular demuestra que el entrenamiento de la fuerza sólo, aumenta la potencia muscular, mientras que el entrenamiento concurrente no produce una mejora en la potencia muscular.[4,5,12]

El entrenamiento de la fuerza y de la resistencia concurrente no parece afectar el desarrollo de fuerza isocinética a velocidad lenta (<1.68 rad · seg⁻¹) de la contracción muscular.[2,10] Sin embargo, la fuerza isocinética de tren inferior pero no la del tren superior en altas velocidades (> 1.68 rad · seg⁻¹) de la contracción muscular, parece ser inhibida.[2,8]

El efecto del entrenamiento concurrente sobre el desarrollo de la fuerza en grupos musculares

diferentes no se ha investigado sistemáticamente. El desarrollo de la fuerza del tren inferior parece ser comprometido cuando los miembros inferiores son sometidos de alguna forma al entrenamiento de la resistencia simultáneo. Sin embargo, el entrenamiento concurrente no puede restringir el desarrollo de fuerza del tren superior.[8] Lamentablemente, sólo un estudio llevado a cabo hasta la fecha, ha examinado las adaptaciones del tren superior. Más estudios que investiguen el entrenamiento concurrente de tren superior, que involucre diferentes modalidades del entrenamiento de la resistencia y de la fuerza, son necesarios antes de que cualquier conclusión pueda hacerse con respecto al efecto que el entrenamiento concurrente tiene sobre el desarrollo de la fuerza del tren superior.

1.3 Modalidad del entrenamiento de resistencia

Todos los estudios que han incorporado la carrera como modalidad del entrenamiento de la resistencia han demostrado una inhibición en el desarrollo de la fuerza.[1,3-5] Es interesante observar que, cada uno de estos estudios involucró una combinación de carrera y entrenamiento de la fuerza isoinercial. Estudios que involucran el pedaleo han mostrado patrones incoherentes de interferencia.[2,6,9,10] Las diferentes modalidades del entrenamiento de la fuerza usadas en estos estudios pueden asociarse con patrones diferentes de interferencia observados. Cuando el remo y el pedaleo de brazos de resistencia se combinan con el entrenamiento de la fuerza, parece no tener ninguna interferencia en el desarrollo de la fuerza, cuando es comparado con el entrenamiento de la fuerza sólo.[7,8,11]

1.4 Historia de entrenamiento

El desarrollo de la fuerza se ha demostrado que es comprometido después del entrenamiento concurrente tanto en participantes entrenados[4,5] como en participantes desentrenados.[2,3] Igualmente, ninguna inhibición en el desarrollo de la fuerza se ha observado después del entrenamiento concurrente sujetos entrenados[7] como en desentrenados.[9]

Los atletas de resistencia han demostrado que tienen aumentos significativamente mayores, en la fuerza y en la potencia después del entrenamiento concurrente, que un grupo de voluntarios sedentarios que realizaron el mismo entrenamiento

concurrente.[12] Desafortunadamente, este estudio no incluyó un grupo de atletas de resistencia que realizaran el entrenamiento de la fuerza en forma aislada. Así, es incierto si el entrenamiento de la resistencia previo anula cualquier efecto inhibitorio parcialmente o totalmente sobre el desarrollo de la fuerza asociado con el entrenamiento concurrente. También se ha indicado que el entrenamiento concurrente puede inhibir el desarrollo de la fuerza en las mujeres previamente entrenadas pero no en los hombres.[11] En algunas ocasiones, el entrenamiento con pesas se ha demostrado que intensifica los parámetros asociados con el rendimiento de resistencia.[9,17-19] Curiosamente, ninguno de los estudios del entrenamiento concurrente ha demostrado una evidencia clara de un efecto aditivo del entrenamiento concurrente (es decir, mejoras en la fuerza o la resistencia que sean mayores después del entrenamiento concurrente que después del entrenamiento de la fuerza o de la resistencia realizados en forma aislada). Sin embargo, es posible que puedan intensificarse los beneficios del entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia en voluntarios previamente entrenados en resistencia.

Autor	Diseño/rutina de entrenamiento	Hallazgos	Comentarios
Nelson y cols. (10)	20 semanas, F precedió a R Grupo F: 4 veces por semana, 3 series de 6 repeticiones, extensión y flexión isocinética de rodillas, velocidad = 0.52 rad·seg ⁻¹ Grupo R: 4 veces por semana, pedaleo continuo, 75 al 85% FC _{máx} , 30 a 60 minutos	La F ↑ en grupos C = F; ganancias del VO _{2máx} durante la segunda mitad del programa de entrenamiento compuesto por el entrenamiento C. comparado al entrenamiento R sólo.	El VO _{2máx} fue medido en una cinta ergométrica, a pesar de usar el pedaleo como ejercicio de entrenamiento de R; Es incierto si esto habría alterado los resultados.

Tabla 2. Interferencia en el desarrollo de la resistencia. C = concurrente; R = resistencia; F = fuerza; ES = tamaño del efecto; FC_{res} = frecuencia cardíaca máxima; VO_{2máx} = consumo máximo de oxígeno; ↑ = aumento

En resumen, el entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia inhibe el desarrollo de la fuerza isoinercial cuando es comparado con el entrenamiento de la fuerza exclusivamente. El entrenamiento concurrente también interfiere con el desarrollo de la fuerza isocinética de tren inferior a velocidades rápidas (> 1.68 rad·seg⁻¹) pero no lentas (<1.68 rad·seg⁻¹) de la contracción muscular. El efecto de la modalidad del entrenamiento de la resistencia que tiene sobre la interferencia del desarrollo de la fuerza asociada con el entrenamiento concurrente es incierto. Sin embargo, el entrenamiento de resistencia con la carrera combinado con el entrenamiento de fuerza, parece inhibir el desarrollo de la fuerza isoinercial cuando es comparado con el entrenamiento de la fuerza isoinercial exclusivamente. Los participantes con una historia de entrenamiento de resistencia pueden ser menos susceptibles a cualquier efecto negativo del entrenamiento concurrente sobre el desarrollo de la fuerza

2. Mecanismos propuestos

Muchos estudios del entrenamiento concurrente han encontrado que el desarrollo de la fuerza se inhibe durante el entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia. Sin embargo, pocos autores han intentado determinar por qué este fenómeno existe. El sobreentrenamiento se ha indicado como un posible mecanismo,[14] mientras Craig y cols.[3] propusieron tanto hipótesis agudas como crónicas para explicar por qué las respuestas adaptativas normales son anormales durante el entrenamiento concurrente.

2.1 Sobreentrenamiento

La mayoría de los estudios del entrenamiento concurrente involucran 3 grupos experimentales al menos. Estos grupos normalmente incluyen uno de sólo fuerza, uno de resistencia sólo y uno de fuerza y resistencia (concurrente). Normalmente, el grupo de entrenamiento concurrente realizará la misma cantidad de entrenamiento de resistencia como el grupo de resistencia sólo, así como la misma cantidad de entrenamiento de la fuerza como el grupo de fuerza sola. Por lo tanto, los participantes del grupo de entrenamiento concurrente tienen que enfrentarse con una doble dosis de la carga de entrenamiento de los otros 2 grupos.

Se ha indicado que individuos que realizan el entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia pueden tornarse sobreentrenados comparado con otros que están realizando entrenamiento de la resistencia o de la fuerza solo.[14] Se piensa que este estado sobreentrenado causa que el grupo de entrenamiento concurrente tenga mejoras menos óptimas después del entrenamiento en tests de rendimiento. Es más, se

ha argumentado que si el sobreentrenamiento fuera un factor durante el entrenamiento concurrente, entonces se inhibirían tanto las medidas de rendimiento de la fuerza como de la resistencia, cuando es comparado con entrenarse para cada modalidad de ejercicio solo.[14] Ningún estudio de entrenamiento concurrente ha reportado este hallazgo. Sin embargo, este argumento presume que los umbrales para los efectos del sobreentrenamiento, para ponerse evidentes en las medidas de fuerza y de resistencia, son similares. Este no puede ser el caso, y merece una investigación más extensa antes de aceptar este argumento.

Los resultados de Dudley y Djamil[2] implican que el sobreentrenamiento no puede ser responsable de los deterioros en el desarrollo de la fuerza asociado con todos los estudios del entrenamiento concurrente. El volumen de entrenamiento de la resistencia en ese estudio era de 5 sesiones de 5 minutos en 3 días por semana. El volumen de entrenamiento de la fuerza era sólo 2 sesiones de 30 segundos en 3 días alternados por semana. Es muy improbable que el volumen de entrenamiento involucrado en este estudio fuera suficientemente excesivo para causar el sobreentrenamiento en el grupo de entrenamiento concurrente.

Hay evidencia insuficiente para evitar el sobreentrenamiento como mecanismo para la respuesta adaptativa inhibida vista en algunos estudios del entrenamiento concurrente. Se requiere una investigación más profunda. Hay una necesidad para futuros estudios del entrenamiento concurrente para incorporar medidas de activación simpática y parasimpática, así como marcadores establecidos de sobreentrenamiento psicológico, de la fuerza y de la resistencia.[20]

2.2 La Hipótesis Crónica

Los efectos exhibidos en la hipertrofia de las fibras de músculo, los sustratos endógenos, la actividad de las enzimas metabólicas, la estructura de las proteínas contráctiles y capilarización por el entrenamiento de la fuerza, son notablemente diferentes, y a veces opuestos, de las adaptaciones asociadas con el entrenamiento de la resistencia.[21,22] La hipótesis crónica indica que el músculo esquelético se pone en una situación de conflicto cuando el entrenamientos concurrente se ha realizado. El músculo está intentando adaptarse a ambas formas de entrenamiento. Sin embargo, esto no es posible porque las adaptaciones al entrenamiento de la resistencia muchas veces no se corresponden con las adaptaciones observadas durante el entrenamiento de la fuerza. Por ejemplo, el entrenamiento de la resistencia se ha demostrado que aumenta la actividad de las enzimas aeróbicas.[23,24] Sin embargo, la actividad de las enzimas aeróbica puede disminuirse después del entrenamiento de la fuerza.[25] El músculo, por lo tanto, es incapaz de adaptarse óptimamente al estímulo de entrenamiento de la fuerza o de la resistencia. Así, el entrenamiento concurrente normalmente provoca diferentes adaptaciones a nivel del músculo esquelético a partir de las adaptaciones observadas cuando cada modo de entrenamiento se realiza por separado.

La evidencia que apoya la hipótesis crónica es limitada, porque pocos estudios han medido los cambios fisiológicos en respuesta al entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia. Esto hace difícil de señalar con precisión un mecanismo fisiológico crónico responsable para causar una inhibición en el desarrollo de la fuerza después del entrenamiento concurrente. A pesar de la cantidad relativamente pequeña de evidencia, algunos autores han hecho pensar en adaptaciones del músculo esquelético específicas que pueden modificarse durante el entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia.[14,15] Éstos incluyen cambios en las transformaciones de las fibras del músculo e hipertrofia muscular, y cambios en el patrón o eficiencia del reclutamiento de unidades motoras.

2.2.1 Transformaciones del tipo de fibra muscular

El entrenamiento concurrente tiene el potencial para causar cambios rápidos en el carácter contráctil del músculo entrenado, que es diferente de aquellos asociados con el entrenamiento de la fuerza o de la resistencia realizado en forma aislada.[26-29] La potencia y fuerza por unidad de área de las isoformas de la cadena pesada de miosina (IIX> IIA>I) difiere, y así, diferentes adaptaciones del entrenamiento.[30,31] Recientemente, el contenido relativo de la isoforma de cadena pesada de la miosina IIA fue demostrado de estar correlacionado significativamente con varios índices de fuerza.[32] Estudios del entrenamiento concurrente que han medido las transiciones, inducidas por el entrenamiento, del tipo de fibra muscular, han reportado una diferencia pequeña en el cambio del tipo de fibra entre los grupos de entrenamiento concurrente y de fuerza sólo.[5,6,10] Esta diferencia mínima en la transformación del tipo de fibra también fue asociada con una falta de interferencia en el desarrollo de la fuerza con el entrenamiento concurrente en 2 estudios. [6,10] Sin embargo, en el tercer estudio, la fuerza y la potencia muscular se ha demostrado de ser inhibida por el entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia, aunque el patrón de transformación del tipo de fibra del músculo estuvo inalterado por el entrenamiento concurrente.[5]

Debe recordarse que los 3 estudios usaron técnicas histoquímicas para diferenciar entre los tipos de fibra del músculo. De esta manera, los cambios poco perceptibles inducidos por el entrenamiento en el carácter de la cadena pesada de la miosina del músculo pueden haber sido inadvertidos, ya que este método sólo descubre la isoforma predominante dentro de una muestra del tejido. Por ejemplo, el aumento porcentual en la proporción de las fibras de contracción rápida a (FTa),

las fibras observadas durante el entrenamiento sólo de fuerza en el estudio de Kraemer y cols. [5], fue más grande (sin embargo, no estadísticamente significativo) que el aumento porcentual observado en el grupo de entrenamiento concurrente (73% vs 39%). Las transiciones de las fibras de contracción rápida b (FTb) a fibras FTa parecería que ocurren en ambos grupos, con las fibras FTb casi inexistentes en ambos grupos al final del período de entrenamiento. De este modo, se presupone que un cambio del complejo de histocompatibilidad principal del tipo Iix al tipo IIa de las isoformas (MHC) habría ocurrido.

En resumen, la investigación hasta la fecha indica que el entrenamiento concurrente no altera la transición normal de los tipos de fibra del músculo asociada exclusivamente con el entrenamiento de la fuerza. Sin embargo, hay una necesidad para más investigación en ésta área usando técnicas bioquímicas más sensibles para evaluar las posibles transformaciones en el carácter contráctil del músculo esquelético asociadas con períodos más largos de entrenamiento concurrente.

2.2.2 Hipertrofia de la fibra muscular

El entrenamiento de la fuerza se ha demostrado que aumenta el área de sección transversal del músculo esquelético.[33] Es más, la cantidad de fuerza capaz de ser generada por el músculo se ha demostrado que se relaciona directamente con el diámetro de la fibra del músculo.[34] La hipertrofia tanto en fibras lentas como rápidas del músculo, ha sido observada después del entrenamiento de la fuerza.[35,36] Sin embargo, los estudios longitudinales y transversales han indicado que el entrenamiento con pesas induce cantidades mayores de hipertrofia en las fibras FTa del músculo que en las fibras de contracción lenta (ST, slow twitch) o fibras FTb.[37,38]

Mientras el entrenamiento con pesas causa una mayor hipertrofia de las fibras que el entrenamiento de la resistencia, la controversia existe sobre la magnitud de la hipertrofia de las fibras de músculo resultante del entrenamiento de la resistencia. Esto es principalmente debido al hecho de que una amplia gama de intensidades del ejercicio ha sido clasificada como ejercicio de resistencia.[21] Sin embargo, a diferencia del entrenamiento de la fuerza, parece no tener ningún patrón distinto (puede haber una variedad de patrones) de hipertrofia de la fibra asociada con el entrenamiento de la resistencia. Esto indica que el entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia normalmente puede provocar patrones diferentes de hipertrofia de la fibra de los observados exclusivamente durante cualquier modo de entrenamiento.

Autor	Diseño/rutina de entrenamiento	Hallazgos	Comentarios
Saley y cols. ⁽⁶⁾	22 semanas, 2 grupos; El F una pierna y C la otra; el R una pierna y C la otra Grupo F: 3 veces por semana, 6 series de 15 a 20 repeticiones de press de piernas Grupo R: 3 veces por semana, x 3 minutos en cicloergómetro, 90% al 100% VO _{2máx}	Ninguna interferencia con el desarrollo de F o R; el número de reps al 80% 1RM mejoró para la mayoría de las piernas entrenadas en C	Influencia de la adaptación central se trasladó entre las piernas. Craig y cols. ⁽⁶⁾ hacen pensar en un efecto regional por el entrenamiento C
Belly cols. ⁽⁷⁾	12 semanas, 2 grupos experimentales; F sólo y C Grupo F: 3 veces por semana en forma de circuito en equipos hidráulico, la relación trabajo: pausa fue de 1:1 Grupo R: 3 veces por semana, ergómetro de remo continuo, 40 a 55 minutos, 85% al 90% FC _{máx}	Velocidad baja en C; el remo en R y F no interfirieron con el ↑ de F; comparado para la baja velocidad de F sólo	El grupo de entrenamiento de la fuerza también fue permitido realizar una sesión de R por semana; una comparación de 2 regímenes de C
Abernethy y Quigley ⁽⁸⁾	7 semanas de entrenamiento, 3 días por semana Grupo F: 2 series de 30 segundos de extensiones isométricas del codo Grupo R: intervalos de pedaleo de brazos de 5 x 5 minutos, 40% al 100% VO _{2máx} Grupo C: F y R en días alternados	Ninguna interferencia en el desarrollo de la F	El patrón indicado del desarrollo de la fuerza en el tríceps difiere del que ocurre en el cuádriceps durante el entrenamiento C
McCarthy y cols. ⁽⁹⁾	10 semanas de entrenamiento, 3 días por semana, F y R, en el mismo día para el grupo C; el orden era rotado, <20 minutos entre los 2 modos Grupo F: 3 series de 6 repeticiones, 6RM, Grupo R: cicloergometría continua, 50 minutos, 70% FC _{máx}	↑ en 1 RM en sentadilla y press de banco, el salto vertical, torque en extensión isométrica de rodillas C ≈ F grupos; ↑ VO _{2máx} en R ≈ C grupos	Falta de interferencia atribuida a la frecuencia reducida del entrenamiento C (es decir, 3 días por semana comparado a 5 a 6 días por semana)
Belly y cols. ⁽¹¹⁾	16 semanas de entrenamiento, 3 días por semana para F y R, tests en 4 semanas de intervalo. Grupo F: 2 a 6 series de 2 a 10 repeticiones, 65% al 85% 1RM Grupo R: remo ergómetro continuo e intervalado	Grupo C ≈ F para el ↑ del press de piernas en varones; El ↑ del grupo C fue > al grupo F para el press de piernas en mujeres; los varones tuvieron significativo ↑ en los niveles de cortisol para los grupos C y F, después de 8 semanas, las semanas subsiguientes, el grupo F volvió a la línea de base pero el grupo C no lo hizo; Mujeres: ambos niveles de cortisol de los grupos disminuyeron sobre las primeras 8 semanas, luego se elevaron significativamente en ambos grupos.	Asignación no al azar de los participantes, es decir, estudiantes universitarios en el grupo F, remeros en el grupo C; diferencias de sexo

Tabla 3. Ningún efecto de la interferencia en el entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia. C = concurrente; R = resistencia; F = fuerza; ES = tamaño del efecto; FC_{res} = frecuencia cardíaca máxima; VO_{2máx} = consumo máximo de oxígeno; ↑ = aumento.

Se ha demostrado que el entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia normalmente deteriora el patrón de hipertrofia de las fibras de músculo asociado exclusivamente con cada modo de entrenamiento sólo.[5] En este estudio, el entrenamiento de la fuerza causó hipertrofia en las fibras ST, FTa y FTb, mientras que el entrenamiento de la resistencia sólo aumentó la superficie transversal de las fibras ST y FTb, y el entrenamiento concurrente sólo causó hipertrofia de las fibras FTa. Esto puede haber explicado por qué la fuerza de la pierna en el grupo concurrente no mejoró tanto como en el grupo de fuerza sólo. Es interesante observar que, el grupo de entrenamiento concurrente no aumentó la potencia anaeróbica aunque los cambios en la hipertrofia de las fibras FTa fueron similares en los grupos de entrenamiento concurrente y de la fuerza. Estos datos ponen de relieve que la relación entre los cambios en la hipertrofia de las fibras y los cambios en el rendimiento es compleja en su naturaleza.

Nelson y cols.[10] también reportaron que el entrenamiento concurrente interfiere con los patrones de hipertrofia de la fibra asociados con el entrenamiento de la fuerza o de la resistencia en forma exclusiva. Aumentos significativos en las

áreas de las fibras ST, FTa y FTb fueron observados después del entrenamiento concurrente y de resistencia sólo. El entrenamiento sólo de fuerza aumentó solamente el área de sección transversal de las fibras de las FTb. Sorprendentemente, el desarrollo de la fuerza en este estudio no fue inhibido por el entrenamiento concurrente, aunque el entrenamiento concurrente deterioró los patrones de hipertrofia de las fibras. Así, la fuerza se pudo haber mantenido por los mecanismos neurales y/o alteraciones en la expresión de la isoforma de la MHC.

Sale y cols.[6] reportaron aumentos similares en el área de la sección transversal muscular total durante el entrenamiento concurrente y de la fuerza solamente. Los aumentos en la fuerza de 1RM también fueron similares en las condiciones de entrenamiento concurrente y de la fuerza solamente. Esto indica que el desarrollo de la fuerza no se inhibe cuando los cambios en la hipertrofia muscular total son similares en los grupos de entrenamiento sólo de fuerza y de entrenamiento concurrente. Sin embargo, el uso de una pierna para la condición de fuerza y el miembro contralateral para la condición concurrente abre la posibilidad de que la hipertrofia muscular en las sub-poblaciones de fibras diferentes y/o un efecto contralateral pudo haber ocurrido.

En resumen, el efecto que el entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia tiene sobre la hipertrofia de la fibra de músculo es incierto. Las interferencias en el patrón de hipertrofia de las fibras en los distintos subgrupos del tipo de fibra son evidentes después del entrenamiento concurrente. Sin embargo, esto no parece estar asociado con alguna inhibición en el desarrollo de la fuerza, muchas veces observada después del entrenamiento concurrente. La investigación futura que se enfoca en los efectos absolutos y relativos del entrenamiento concurrente en la hipertrofia muscular puede ayudar a clarificar la situación.

2.2.3 Cambios endócrinos

El entrenamiento concurrente que altera el equilibrio de las hormonas anabólicas a catabólicas puede reducir la hipertrofia de la fibra y, por consiguiente, el desarrollo de la fuerza.[39] Hay un número creciente de literatura que investiga la respuesta endócrina a varias formas de entrenamiento. Típicamente, la testosterona y el cortisol (o sus derivados) se han usado como marcadores para el anabolismo y el catabolismo muscular. Se han demostrado que los niveles de cortisol y testosterona aumentan, disminuyen y se estabilizan igualmente después de varios turnos de ejercicio de resistencia.[40,41] Estas diferencias no sólo pueden ser debidas a las alteraciones en la producción como consecuencia de los regímenes de ejercicio diferentes, sino también a las modificaciones en la eliminación hepática y renal. Algunos, pero no todas, las intervenciones de entrenamiento con pesas han sido demostradas que alteran la relación testosterona:cortisol en favor de lo anabólico.[42-46]

Posiblemente, el elemento de resistencia del entrenamiento concurrente podría crear un ambiente más catabólico, y esto puede, a su vez, inhibir el desarrollo de la fuerza. Debe notarse que el elemento de fuerza del entrenamiento concurrente también puede modificar el ambiente endócrino asociado normalmente con el componente de resistencia del entrenamiento concurrente.

Ha habido sólo unas investigaciones sobre el régimen concurrente que han reportado respuestas endócrinas al entrenamiento concurrente.[5,11] Es interesante observar que, el entrenamiento concurrente no se ha demostrado que reduce los niveles de cortisol. En efecto, Kraemer y cols.[5] reportaron un aumento en la testosterona entre el octavo y la duodécima semana de entrenamiento. Sin embargo, el entrenamiento concurrente también ha sido asociado con un aumento precoz en los niveles de cortisol. Mientras que los datos endócrinos proveen un vínculo mecanicista alentador, el desarrollo de la fuerza no siempre se inhibió en condiciones en donde había una elevación del cortisol.

De tal manera, los datos actuales indican además que el trabajo en la respuesta endócrina al entrenamiento concurrente es requerido y que el rol de las hormonas anabólico-catabólicas en la adaptación concurrente es complejo.

2.2.4 Cambios en el reclutamiento de las unidades motoras

Las demandas puestas sobre el sistema neuromuscular durante el entrenamiento de la resistencia y de la fuerza, requieren patrones diferentes de activación de las unidades motoras. El reclutamiento de las fibras musculares durante el ejercicio de resistencia son dependientes de la intensidad del ejercicio.[47] El reclutamiento preferencial de fibras ST ocurre durante actividad de baja a moderada resistencia. [48].

El entrenamiento con pesas generalmente se caracteriza por contracciones musculares que producen niveles casi máximos de fuerza. Todas las fibras del músculo dentro de los 'pools' (conjuntos) de unidades motoras específicas del movimiento son reclutadas durante este tipo de actividad. [49] Es más, el entrenamiento de la fuerza aumenta la fuerza de contracción muscular mejorando la coordinación del reclutamiento de las unidades motoras.[50] Se ha indicado que el entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia puede alterar los patrones del reclutamiento de unidades motoras asociados con las contracciones voluntarias máximas.[15] El entrenamiento de la resistencia se ha demostrado que reduce la capacidad del salto vertical.[51] Esto puede ser debido al entrenamiento de la resistencia que reduce la capacidad del

sistema neuromuscular para generar fuerza rápidamente.[51] Por lo tanto, parece posible que el entrenamiento concurrente pueda interferir con el desarrollo de la fuerza, empeorando la capacidad del sistema neuromuscular para hacer las adaptaciones en la organización de los patrones del reclutamiento de unidades motoras eficientes, normalmente asociado con el entrenamiento de la fuerza sólo (para más discusión, ver sección 2.3.1).

Ninguno de los estudios del entrenamiento concurrente dirigidos hasta ahora ha investigado los cambios inducidos por el entrenamiento sobre el reclutamiento de las unidades motoras. Sin embargo, como se discutió antes en la sección 2.2.2, la interferencia de la fuerza durante el entrenamiento concurrente no puede atribuirse totalmente a la inhibición de la hipertrofia de las fibras o a las transformaciones del tipo de fibra. Esto indica que las alteraciones en el reclutamiento de las unidades motoras pueden ser, en parte, responsables de la inhibición en el desarrollo de la fuerza observado durante el entrenamiento concurrente.

En resumen, el entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia parece producir una respuesta adaptativa diferente de cualquier entrenamiento de la fuerza o de la resistencia realizado en forma aislada. Así, la hipótesis crónica es interesante dado que provee un mecanismo claro para explicar las interacciones entre el entrenamiento de la resistencia y de la fuerza, a pesar del hecho de que datos que prueban esta hipótesis son limitados en magnitud y precisión. 2.3 La Hipótesis Aguda La hipótesis aguda sostiene que la fatiga residual del componente de resistencia del entrenamiento concurrente compromete la capacidad para desarrollar tensión durante el elemento de fuerza del entrenamiento concurrente.[3] El grado de tensión desarrollado por el músculo durante el entrenamiento es un factor crítico en la producción del desarrollo óptimo de la fuerza. [52] Si no puede generarse tensión suficiente durante el componente de fuerza del entrenamiento concurrente, el desarrollo óptimo de la fuerza y la adaptación no pueden ocurrir. De tal manera, la hipótesis aguda indica que simplemente realizar en forma simultánea el entrenamiento de la fuerza y de la resistencia, necesariamente no causa un desarrollo de la fuerza anormal. Más bien, la planificación de las sesiones del entrenamiento de una manera tal que la calidad del entrenamiento de la fuerza esté reducida debido a la fatiga residual de una sesión de entrenamiento de la resistencia previa, puede ser responsable de causar un desarrollo anormal de la fuerza.

La hipótesis aguda fue propuesta después de una inhibición en la fuerza del tren inferior pero no en la fuerza del tren superior, que fue observada después del entrenamiento combinado de carrera y levantamiento de pesas.[3] Se ha indicado que el programa de entrenamiento que involucraba la carrera inmediatamente antes del levantamiento de pesas, era responsable de la inhibición del desarrollo de la fuerza del tren inferior.[3]

Fue propuesto que la carrera producía fatiga muscular residual que no permitió a los voluntarios entrenar su tren inferior tan eficazmente como su tren superior. Así, la sobrecarga relativa de entrenamiento estuvo reducida. Se consideraba que la calidad reducida del estímulo del entrenamiento de la fuerza en el grupo de entrenamiento concurrente comparado con el grupo del entrenamiento sólo de fuerza era responsable del desarrollo anormal de la fuerza en el grupo de entrenamiento concurrente. También se ha indicado que el tiempo exigido para dar una recuperación suficiente al cuerpo entre las sesiones de entrenamiento puede ser un factor limitante al intentar inducir adaptaciones simultáneas al entrenamiento de la fuerza y de la resistencia.[53]

Cuando se invierte el orden de las sesiones de entrenamiento, y las sesiones del entrenamiento de la fuerza preceden a las sesiones del entrenamiento de la resistencia inmediatamente, el desarrollo del fitness aeróbico ha sido en alguna ocasión anormal.[10] Por lo tanto, parece ser que alguna forma de fatiga residual a partir de la actividad de entrenamiento precedente puede reducir la calidad de la actividad de entrenamiento subsecuente. Esto entonces puede llevar a una inhibición en la respuesta adaptativa normal inducida por entrenamiento asociada con la segunda actividad de entrenamiento. Se han dirigido dos estudios comparando programas de entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia con diferente organización de las sesiones de entrenamiento.[54,55] Sale y cols.[55] encontraron que el entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia dirigido en días alternados produjo ganancias de fuerza más grandes que los entrenamientos concurrentes realizados en el mismo día. Los participantes en la condición del mismo día en esta investigación realizaron el entrenamiento concurrente en 2 días por semana. El entrenamiento de la fuerza precedió el entrenamiento de la resistencia en 1 de esos días. El orden del entrenamiento luego se invirtió en el segundo día.

Collins y Snow[54] también compararon 2 programas de entrenamiento concurrente que diferían en la sucesión del entrenamiento. Un grupo realizó el entrenamiento de la resistencia antes del entrenamiento de la fuerza. Esta sucesión se invirtió en el otro grupo. En contraste a Sale y cols.,[55] ellos encontraron que la sucesión del entrenamiento no tenga un efecto sobre el desarrollo de la fuerza o de la resistencia. La frecuencia, la intensidad y la duración del entrenamiento de la fuerza y de la resistencia eran iguales para ambos grupos experimentales en ese estudio. Sin embargo, Sale y cols.[55] encontraron que el volumen total (peso levantado multiplicado por el número de repeticiones) de entrenamiento de la fuerza realizado por la condición del mismo día era menos que el del grupo del día alternado. Consistente con esto fue el hallazgo de que el desarrollo de la fuerza en el grupo del mismo día también fue menos que el del grupo del día alternado.

Sale y cols.[55] indicaron que la capacidad del grupo del día alternado para levantar cargas progresivamente más pesadas era debida al hecho de que ellos habían adquirido adaptaciones del entrenamiento de la fuerza, que causaron que su fuerza mejore en tanto el programa de entrenamiento progresaba. Sin embargo, los participantes en el grupo del mismo día no pudieron haber sido capaces de levantar tanto peso porque ellos se fatigaban a partir del turno precedente de ejercicio de resistencia. Estos individuos realizaban el entrenamiento concurrente 2 días por semana, con el entrenamiento de la resistencia precediendo al entrenamiento de la fuerza en una ocasión, y entrenamiento de la fuerza precediendo al entrenamiento de la resistencia en otra ocasión. Los autores también indicaron que el estímulo del entrenamiento de la fuerza puede reducirse por un efecto anticipador cuando el entrenamiento de la resistencia sigue al entrenamiento de la fuerza. Desafortunadamente, estos resultados no pueden establecer si el entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia en el mismo día inhibe el desarrollo de la fuerza, interfiriendo directamente con el proceso fisiológico de adaptación al entrenamiento de la fuerza, o reduciendo primeramente el estímulo del entrenamiento de la fuerza, por lo cual el desarrollo de la fuerza empeora. Sin embargo, estos resultados dan un indicio de que hay una relación entre el estímulo del entrenamiento de la fuerza y la cantidad de desarrollo de la fuerza.

La mayoría de los estudios que han comparado el entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia con cualquier modo de entrenamiento solo, no ha reportado el volumen de entrenamiento y la intensidad real realizados durante el estudio. Una excepción fue Hennessy y Watson,[4] quienes reportaron que los participantes en el grupo del entrenamiento sólo de fuerza realizaron un volumen mayor de entrenamiento de la fuerza que el grupo de entrenamiento concurrente durante la última parte del programa de entrenamiento.

No es de sorprender que, el grupo sólo de fuerza en este estudio aumentó el desarrollo de la fuerza por un margen mayor que el grupo de entrenamiento concurrente. Las sesiones de entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia en este estudio se realizaron en el mismo día en 2 ocasiones cada semana. Es difícil de determinar el mecanismo responsable de la disminución en el volumen del entrenamiento en el grupo de entrenamiento concurrente ya que el orden de las sesiones del entrenamiento no se reportaron. Sin embargo, la fatiga aguda puede estar implicada.

La interferencia de fuerza se ha observado después del entrenamiento concurrente donde las sesiones de fuerza y resistencia eran realizadas en días alternados. [2] La fatiga residual puede haber sido aún un factor en ese estudio, ya que se ha demostrado que la recuperación de la fuerza después de la actividad de resistencia previa puede estar incompleta después de 25 horas. [56]

Se ha demostrado que el desarrollo de la fuerza isoinercial es mayor cuando las sesiones de entrenamiento son espaciadas 48 horas aparte, cuando es comparado con sesiones de entrenamiento espaciadas 72 horas separadamente.[57] Esto es evidente a pesar de la evidencia que indica que el rendimiento de fuerza se reduce hasta 72 horas después de un turno agudo de ejercicio de fuerza.[58] Estos resultados podrían parecer que contradicen la hipótesis de fatiga aguda de Craig y cols. [3] Sin embargo, los mecanismos que subyacen y los efectos de la fatiga aguda asociados con la resistencia y el entrenamiento concurrente, pueden diferir. Por ejemplo, la investigación de Rooney y cols.[59] indica que la fatiga asociada con el entrenamiento con pesas puede facilitar la activación de todas las unidades motoras asociadas con un movimiento particular. La fatiga aguda asociada con el entrenamiento concurrente no puede asociarse con un nivel similar de activación.

Abernethy[60] agregó más apoyo a la hipótesis de fatiga aguda de Craig y cols.[3], demostrando que el pedaleo de resistencia previo significativamente reducía la fuerza producida por los extensores de la pierna en el ejercicio de fuerza isocinética subsecuente. Recientemente, se ha demostrado que el rendimiento de fuerza isocinético e isoinercial es reducido cuando se realiza inmediatamente después del pedaleo de resistencia de alta intensidad.[61] Sin embargo, el rendimiento de fuerza isocinético, isométrico e isoinercial permanece óptimo cuando fue realizado 8 ó 32 horas después del pedaleo de resistencia.[62]

En resumen, hay evidencia para indicar que la fatiga residual de un turno de ejercicio de resistencia previo inhibe la calidad del ejercicio de fuerza subsecuente. Sin embargo, es incierto en este estado si las reducciones agudas repetidas en la calidad del entrenamiento de la fuerza son responsables de causar deterioros en el desarrollo de la fuerza durante el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia.

2.3.1 Mecanismos de fatiga implicados en la Hipótesis Aguda

Identificar los mecanismos fisiológicos responsables de producir la fatiga residual asociada con la hipótesis aguda, puede permitir fijar sesiones de entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia de tal forma que la calidad del entrenamiento de la fuerza permanezca óptima. Aunque estos mecanismos de fatiga potenciales tienen que ser investigados más sistemáticamente, el efecto de la fatiga residual se localiza al músculo entrenado simultáneamente. Varios estudios encontraron que solamente el desarrollo de la fuerza del tren inferior y no el desarrollo de la fuerza del tren superior era anormal durante el entrenamiento concurrente.[3-5] La reciente investigación ha encontrado que 6 horas después de un turno de 30 minutos de pedaleo intensivo, una reducción significativa en la fuerza isométrica máxima fue

acompañada por un aumento significativo en el déficit de activación asociado con un entrenamiento de contracción interpolada (Bently D., comunicación personal). Esto, en combinación con una reducción en la actividad de un electromiograma integrado (iEMG), hace pensar en una fatiga mediada centralmente. Sin embargo, la proporción de iEMG:fuerza, que se ha usado como índice de fatiga central, no fue alterada por el turno de pedaleo. Es más, las disminuciones significativas en la fuerza asociada en absoluto con las frecuencias de electroestimulación (10 a 100Hz) implican factores periféricos en la fatiga aguda. Un posible mecanismo es la alteración al proceso de excitación contráctil. Se ha señalado que la fatiga de baja frecuencia puede ser indicativa de una supresión de proceso.[63] Bently (comunicación personal) reportó tal fatiga evidente, inmediatamente (10 minutos) después del turno de pedaleo.

Otra posible causa periférica de fatiga aguda incluye la acumulación de metabolitos (por ejemplo, el fosfato inorgánico, el ácido láctico, el amoníaco) y el vaciamiento de sustratos de energía como ATP, fosfato de creatina y glucógeno muscular.[64] Se ha indicado que la disminución en el pH muscular como resultado de la acumulación de lactato es una causa principal de fatiga en el ejercicio de corta duración.[65] Los niveles elevados del lactato sanguíneo son evidentes después del ejercicio de resistencia de alta intensidad.[66] El lactato sanguíneo normalmente vuelve a los niveles de reposo aproximadamente 1 hora después de la cesación del ejercicio.[67] La fuerza se ha demostrado que se reduce 4 horas después de la cesación del ejercicio de resistencia.[60] Es más, la recuperación de la fuerza se mantiene incompleta unas 25 horas después de la actividad de resistencia.[56] Así, parecería que las reducciones en la fuerza son aún bien evidentes después de que los niveles del pH retornen a los valores normales. Por lo tanto, es improbable que la mayor acumulación de iones de hidrógeno como resultado de la producción del ácido láctico sea el mecanismo de fatiga involucrado en la hipótesis aguda. Varios estudios han reportado la pérdida de fuerza después de inducir el daño muscular teniendo a voluntarios realizando ejercicio excéntrico desacostumbrado.[68-70]

Por lo tanto, es posible que el ejercicio de resistencia que involucra cantidades relativamente grandes de actividad excéntrica del músculo pueda dañar el rendimiento en una sesión de entrenamiento de la fuerza subsecuente. Sin embargo, esto es poco probable de causar algún empeoramiento a largo plazo sobre el desarrollo de la fuerza. Primeramente, el daño muscular ocurre después del ejercicio desacostumbrado (o inusual), y turnos repetidos de ejercicio (es decir, sesiones de entrenamiento) resultan en un pequeño o ningún daño.[71] En segundo lugar, es probable que el dolor muscular inducido por el ejercicio sea mucho mayor después del ejercicio de fuerza que del ejercicio de resistencia.[72] Así, en un estudio de entrenamiento concurrente clásico, el grupo de sólo fuerza también pudo haber experimentado daño muscular inducido por el ejercicio. Sin embargo, el desarrollo de la fuerza en este grupo fue diez veces mayor que el grupo de entrenamiento concurrente.

Por lo tanto, parece improbable que ese daño muscular inducido por el ejercicio sea responsable de la fatiga residual asociada con la hipótesis aguda. Sin embargo, ya que los mecanismos celulares responsables del daño muscular inducido por el ejercicio no son bien conocidos,[72] este mecanismo de fatiga no debe ser totalmente descartado en este escenario. Es interesante observar que, estudios del entrenamiento concurrente que involucran las modalidades del entrenamiento de la fuerza y de la resistencia con cantidades relativamente grandes de actividad excéntrica (carrera y entrenamiento de la fuerza isoinercial), han mostrado un desarrollo de la fuerza inhibido de forma consistente. [1,3-5,12]

Más investigación en esta área debe realizarse.

La actividad de resistencia prolongada causa una reducción significativa en los niveles endógenos del glucógeno muscular.[48,73] El punto al cual un individuo no puede continuar el ejercicio de resistencia ha sido asociado con el agotamiento de las reservas intramusculares de glucógeno.[74] Es más, la capacidad de trabajo durante el ejercicio de resistencia es dependiente de los niveles iniciales del glucógeno muscular.[75] Mientras la importancia del glucógeno intramuscular como sustrato de energía durante el ejercicio de resistencia está bien documentado,[76,77] el metabolismo del glucógeno muscular durante la actividad del entrenamiento de la fuerza ha recibido poca atención en la literatura de la investigación.

El glucógeno muscular es un sustrato de energía importante durante la actividad del entrenamiento con pesas.[78,79] El rendimiento de fuerza se ha demostrado de ser intensificado por la suplementación de carbohidratos durante el ejercicio.[80] De esta forma, parecería creíble que el glucógeno muscular reducido dañaría el rendimiento de fuerza. En realidad, el vaciamiento del glucógeno muscular se ha demostrado de reducir el rendimiento de fuerza isométrica.[81] En suma, un programa de restricción de carbohidratos ha sido demostrado que reduce el rendimiento de fuerza isoinercial pero no isocinética.[82] Al contrario, la fuerza isocinética parece estar inalterada cuando las reservas de glucógeno muscular están reducidas,[83] y se ha demostrado que el vaciamiento del glucógeno no puede ser responsable del rendimiento de fuerza isométrico reducido 24 horas después del ejercicio de resistencia.[84] Sin embargo, el glucógeno muscular bajo parece acentuar la debilidad del músculo inducida por el ejercicio.[85]

El vaciamiento del glucógeno muscular no siempre se ha demostrado que reduce el rendimiento durante la actividad del entrenamiento de la fuerza. Se ha indicado que la naturaleza del deterioro del rendimiento durante la actividad de fuerza puede depender de la magnitud a la cual el glucógeno se depleta en los diferentes tipos de fibra muscular.[86] Por lo tanto, es difícil especular sobre si el vaciamiento del glucógeno intramuscular puede implicarse como un factor de fatigan

involucrado en la hipótesis aguda. Sin embargo, está claro que el vaciamiento del glucógeno muscular tiene el potencial para dañar ciertas medidas del rendimiento de fuerza.

En resumen, los recientes datos indican que pueden implicarse factores centrales y periféricos en la hipótesis aguda. Sin tener en cuenta la combinación de los factores, los efectos de la fatiga aguda parecen ser confinados al entrenamiento simultáneo del músculo. Los recientes datos indican que la supresión del proceso excitación-contráctil puede implicarse, aunque la magnitud temporal de esta perturbación parece pequeña. Hay algunos datos también para implicar el vaciamiento del glucógeno en la fatiga aguda. Más investigación en esta área es requerida.

3. Conclusión

El propósito de esta revisión fue comparar los estudios del entrenamiento concurrente, identificar las limitaciones de la investigación y discutir los posibles mecanismos involucrados. El entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia parece inhibir el desarrollo de la fuerza cuando es comparado con el entrenamiento de la fuerza exclusivamente. Nuestra comprensión de la naturaleza de esta inhibición en la actualidad es limitada. Esto está debido a los esfuerzos limitados de la investigación sistemática del entrenamiento concurrente. Muchos esfuerzos de la investigación del entrenamiento concurrente son investigaciones únicas de estudio que examinan adaptaciones a las formas específicas del entrenamiento de la fuerza y de la resistencia. Es difícil comparar los resultados de estudios que difieren notablemente en varios factores de diseño incluyendo el modo, la frecuencia, la duración y la intensidad del entrenamiento, historia de entrenamiento de los participantes, programación de las sesiones de entrenamiento y selección de la variable dependiente. Se recomienda que los laboratorios individuales se enfoquen en un modelo de entrenamiento particular y realicen una serie de investigaciones que usen este modelo. Una serie consistente de trabajos de investigación

puede habilitar una cuantificación de los efectos inhibitorios del entrenamiento concurrente. Es más, manipulando sólo ciertas variables del entrenamiento, los investigadores pueden identificar distintas estrategias de preparación que pueden superar cualquier efecto negativo del entrenamiento concurrente. En la actualidad, se han propuesto las hipótesis crónicas y agudas para explicar el fenómeno de la inhibición de la fuerza durante el entrenamiento concurrente. Sin embargo, existe una evidencia limitada para ambas hipótesis. Aún más, la investigación 'mecanicista' también es necesaria para identificar otros posibles mecanismos responsables de la inhibición observada en el desarrollo de la fuerza después del entrenamiento concurrente.

Agradecimientos

Este proyecto fue soportado por la Comisión de Deporte Australiano.

REFERENCIAS

1. Hickson RC (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol*; 45: 255-63
2. Dudley GA, Djamil R (1985). Incompatibility of endurance and strength training modes of exercise. *J Appl Physiol*; 59: 1446-51
3. Craig BW, Lucas J, Pohlman R, et al (1991). Effects of running, weightlifting and a combination of both on growth hormone release. *J Appl Sport Sci Res*; 5: 198-203
4. Hennessy LC, Watson AWS (1994). The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *J Strength Cond Res*; 8: 12- 9
5. Kraemer WJ, Patton JF, Gordon SE, et al (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol*; 78:976-89
6. Sale DG, MacDougall JD, Jacobs I, et al (1990). Interaction between concurrent strength and endurance training. *J Appl Physiol*; 68: 260-70
7. Bell GJ, Petersen SR, Wessel J, et al (1991). Physiological adaptations to concurrent endurance training and low velocity resistance training. *Int J Sports Med*; 12: 384-90
8. Abernethy PJ, Quigley BM (1993). Concurrent strength and endurance training of the elbow extensors. *J Strength Cond Res*; 7: 234-40
9. McCarthy JP, Agre JC, Graf BK, et al (1995). Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc*; 27: 429-36
10. Nelson AG, Arnall DA, Loy SF, et al (1990). Consequences of combining strength and endurance training regimens. *Phys Ther*; 70: 287-94
11. Bell G, Syrotuik D, Socha T, et al (1997). Effect of strength training and concurrent strength and endurance training on strength, testosterone, and cortisol. *J Strength Cond Res*; 11: 57-64
12. 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: 269-75
13. Thomas JR, Nelson JK (1990). Research methods in physical activity. *Champaign (IL): Human Kinetics*
 14. Dudley GA, Fleck SJ (1987). Strength and endurance training: are they mutually exclusive? . *Sports Med*; 4: 79-85
 15. ChromiakJA, Mulvaney DR (1990). Areview: the effects ofcombined strength and endurance training on strength development. *J Appl Sport Sci Res*; 4: 55-60
 16. Abernethy PJ, Jurimae J (1996). Cross sectional and longitudinal uses of isoinertial, isometric, and isokinetic dynamometry. *Med Sci Sports Exerc*; 28: 1180-7
 17. Hickson RC, Dvorak BA, Gorostiaga EM, et al (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol*; 65: 2285-90
 18. Marcinik EJ, Potts J, Schlabach G, et al (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*; 23: 739-43
 19. Bishop D, Jenkins DG, Mackinnon LT, et al (1999). The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Med Sci Sports Exerc*; 31: 886-91
 20. Hooper SL, Mackinnon LT (1995). Monitoring over training in athletes: recommendations. *Sports Med*; 20: 321-7
 21. Abernethy PJ, Thayer R, Taylor AW, et al (1990). Acute and chronic responses of skeletal muscle to endurance and sprint exercise: a review. *Sports Med*; 10: 365-89
 22. Abernethy PJ, Jurimae J, Logan PA, et al (1994). Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise. *Sports Med*; 17: 22-38
 23. Benzi G, Panceri P, de Bernardi M, et al (1975). Mitochondrial enzymatic adaptation of skeletal muscle to endurance training. *J Appl Physiol*; 38: 565-9
 24. Gollnick PD, Armstrong RB, Saltin B, et al (1973). Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *J Appl Physiol*; 34: 107-11
 25. Tesch PA, Komi PV, Hakkinen K (1987). Enzymatic adaptations consequent to long term strengthtraining. *Int. J Sports Med*; 8: 66-9
 26. Costill DL, Fink W, Pollock ML (1976). Muscle fibre composition and enzymatic activities of elite distance runners. *Med Sci Sports Exerc*; 8: 96-100
 27. Houston ME (1978). The use of histochemistry in muscle adaptation: a critical assessment. *Can J Appl Sport Sci*; 3: 109-19
 28. Karapondo D, Staron R, Hagerman F (1991). The time course for fast twitch fiber type conversions in resistance trained men and women [abstract]. *Med Sci Sports Exerc*; 23: S130
 29. Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ, et al (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy resistance training in men and women. *J Appl Physiol*; 76: 1247-55
 30. Bottinelli R, Schiaffino S, Reggiaini C (1991). Force velocity relations and myosin heavy chain isoform compositions of skinned fibres from rat skeletal muscle. *J Physiol*; 437: 655-72
 31. Steinen GJM, Kiers JL, Bottinelli R, et al (1996). Myofibrillar ATPase in skinned human skeletal muscle fibres: fibre type and temperature dependence. *J Physiol*; 493: 299-307
 32. Jurimae J, Abernethy PJ, Blake K, et al (1996). Changes in the myosin heavy chain isoform profile of the triceps brachii muscle following 12 weeks of resistance training. *Eur J Appl Physiol*; 74: 287-92
 33. Tesch PA (1988). Skeletal muscle adaptations consequent to long-term heavy resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*; 20: S132-4
 34. Fitts RH, Mcdonald KS, Schluter JM (1991). The determinants of skeletal muscle force and power: their adaptability with changes in activity pattern. *J Biomech*; 24: S11-2
 35. Hakkinen K, Komi PV, Tesch PA (1981). Effect of combined concentric and eccentric training and detraining on force time, muscle fibre, and metabolic characteristics of leg extensor muscles. *Scand J Sport Sci*; 3: 50-8
 36. MacDougal JD, Elder GCB, Sale DG, et al (1980). Effects of strength training and immobilization on human muscle fibres. *Eur J Appl Physiol*; 43: 25-34
 37. Costill DL, Coyle EF, Fink WF, et al (1979). Adaptations in skeletal muscle following strength training. *J Appl Physiol*; 46: 96-9
 38. Staron RS, Hikida RS, Hagerman FC, et al (1984). Human skeletal muscle adaptability to various workloads. *J Histochem Cytochem*; 32: 146- 54
 39. Almon RR, Dobois DC (1990). Fiber-type discrimination in diuse and glucocorticoid-induced atrophy. *Med Sci Sports Exerc*; 22: 304-11
 40. Hackney AC, Premo MC, McMurray RG (1995). Influence of aerobic versus anaerobic exercise on the relationship between reproductive hormones inmen. *J Sports Sci*; 13: 305-11
 41. Tabata I, Atomi Y, Mutoh Y, et al (1990). Effect of physical training on the responses of serum adrenocorticotrophic hormone during prolonged exhausting exercise. *Eur J Appl Physiol*; 61: 188-92
 42. Kraemer WJ, Fleck SJ, Dziados JE, et al (1993). Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *J Appl Physiol*; 75: 594-604
 43. Kraemer WJ, Hakkinen K, Newton RU, et al (1998). Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in younger and older men. *Eur J Appl Physiol*; 77: 206-11
 44. Kraemer WJ, Staron RS, Hagerman FC, et al (1998). The effects of short-term resistance training on endocrine function in men and women. *Eur J Appl Physiol*; 78: 69-76
 45. Hakkinen K, Pakarinen A (1995). Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in men and women at different ages. *Int J Sports Med*; 16: 507-13
 46. Volek JS, Kraemer WJ, Bush JA, et al (1997). Testosterone and cortisol in relationship to dietary nutrients and resistance exercise. *J Appl Physiol*; 82: 49-54
 47. Henriksson J, Reitman JS (1976). Quantitative measures of enzyme activities in type I and type II muscle fibres of man after training. *Acta Physiol Scand*; 97: 392-7

48. Gollnick PD, Piehl K, Saltin B (1974). Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. *J Physiol*; 241: 45-57
49. Enoka RM, Stuart DG (1984). Henneman's 'size principle': current issues. *Trends Neurosci*; 7: 226-8
50. Bandy WD (1990). Lovelace-Chandler V, McKittrick-Bandy B. Adaptations of skeletal muscle to resistance training. *J Orthop Sports Phys Ther*; 12: 248-55
51. Ono M, Miyashita M, Asami T (1976). Inhibitory effect of long distance running training on the vertical jump and other performances among aged males. In: Komi PV, editor. *Biomechanics v-b. Baltimore (MD): University Park Press: 94-100*
52. Atha J (1981). Strengthening muscle. *Exerc Sport Sci Rev*; 9: 1-73
53. Jacobs I (1993). Adaptations to strength training. In: Macleod D, editor. *Intermittent high intensity exercise: preparation, stresses, and damage limitation. London: E & FN Spoon: 27-32*
54. Collins MA, Snow TK (1993). Are adaptations to combined endurance and strength training affected by the sequence of training??. *J Sports Sci*; 11: 485-91
55. Sale DG, Jacobs I, MacDougall JD, et al (1990). Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc*; 22: 348-56
56. Kroon GW, Naeije M (1988). Recovery following exhaustive dynamic exercise in human biceps muscle. *Eur J Appl Physiol*; 58: 228-32
57. Carroll TJ, Abernethy PJ, Logan PA, et al (1998). Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *Eur J Appl Physiol*; 78: 270-5
58. Logan PA, Abernethy PJ (1996). Time course changes in strength and indices of acute fatigue following heavy resistance exercise [abstract]. *Australian Conference of Science and Medicine in Sport; Oct 28-31; Canberra, 238-9*
59. Rooney KJ, Herbert RD, Balnave RJ (1994). Fatigue contributes to the strength training stimulus. *Med Sci Sports Exerc*; 26: 1160-4
60. Abernethy PJ (1993). Influence of acute endurance activity on isokinetic strength. *J Strength Cond Res*; 7: 141-6
61. Leveritt M, Abernethy PJ (1999). Acute effects of high intensity endurance exercise on subsequent resistance activity. *J Strength Cond Res*; 13: 47-51
62. Leveritt M, Mac Laughlin H, Abernethy PJ (1998). Effect of endurance exercise on strength performance after 8 and 32 hours. *Sports Medicine Australia (Queensland Branch) State Conference; May 2-4; Coolumb, 41*
63. Edwards RHT, Hill DK, Jones DA, et al (1977). Fatigue of long duration in human skeletal muscle after exercise. *J Physiol*; 272:769-78
64. Mac Laren DPM, Gibson H, Parry-Billings M, et al (1989). A review of metabolic and physiological factors in fatigue. *Exerc Sport Sci Rev*; 17: 29-66
65. Sahlin K (1992). Metabolic factors in fatigue. *Sports Med*; 13: 99-107
66. Foxdal P, Sjodin A, Sjodin B (1996). Comparison of blood lactate concentrations obtained during incremental and constant intensity exercise. *Int J Sports Med*; 17: 360-5
67. Francaux MA, Jacqmin PA, Sturbois XG (1993). Variations in lactate apparent clearance during rest and exercise in normal man. *Arch Int Physiol Biochem Biophys*; 101: 303-9
68. Clarkson PM, Tremblay I (1988). Exercise induced muscle damage, repair, and adaptation in humans. *J Appl Physiol*; 65: 1-6
69. Newham DJ, Jones DA, Clarkson PM (1987). Repeated high force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage. *J Appl Physiol*; 63: 1381-6
70. Sargeant AJ, Dolan P (1987). Human muscle function following prolonged eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol*; 56: 704-11
71. Byrnes WC, Clarkson PM, White JS, et al (1985). Delayed onset muscle soreness following repeated bouts of downhill running. *J Appl Physiol*; 59: 710-5
72. Ebbeling CB, Clarkson PM (1989). Exercise induced muscle damage and adaptation. *Sports Med*; 7: 207-34
73. Sherman WM, Armstrong LE, Murray TM, et al (1984). Effect of a 42.2-km foot race and subsequent rest or exercise on muscular strength and work capacity. *J Appl Physiol*; 57: 1668-73
74. Hermansen L, Hultman E, Saltin B (1967). Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol Scand*; 71: 129-39
75. Bergstrom J, Hermansen L, Hultman E, et al (1967). Muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol Scand*; 70: 140-50
76. Costill DL, Miller JM (1980). Nutrition for endurance sport: carbohydrate and fluid balance. *Int J Sports Med*; 1: 2-14
77. Coyle EF (1992). Carbohydrate feeding during exercise. *Int J Sports Med*; 13: S126-8
78. Tesch PA, Colliander EB, Kaiser P (1986). Muscle metabolism during heavy resistance exercise. *Eur J Appl Physiol*; 55: 362-6
79. MacDougall JD, Ray S, Mc Cartney N, et al (1988). Substrate utilization during weightlifting [abstract]. *Med Sci Sports Exerc*; 20: S66
80. Lambert CP, Flynn MG, Boone JB, et al (1991). The effects of carbohydrate feeding on multiple-bout resistance exercise. *J Appl Sport Sci Res*; 5: 192-7
81. Hepburn D, Maughan RJ (1982). Glycogen availability as a limiting factor in the performance of isometric exercise. *J Physiol*; 342: 52-3P
82. Leveritt M, Abernethy PJ (1999). Effects of carbohydrate restriction on strength performance. *J Strength Cond Res*; 13: 52-7
83. Symons JD, Jacobs I (1989). High-intensity exercise performance is not impaired by low intramuscular glycogen. *Med Sci Sports Exerc*; 21: 550-7
84. Grisdale RK, Jacobs I, Cafarelli E (1990). Relative effects of glycogen depletion and previous exercise on muscle force and endurance capacity. *J Appl Physiol*; 69: 1276-82
85. Young K, Davies CTM (1984). Effect of diet on human muscle weakness following prolonged exercise. *Eur J Appl Physiol*; 53:81-5
86. Jacobs I, Kaiser P, Tesch P (1981). Muscle strength and fatigue after selective glycogen depletion in human skeletal muscle fibres. *Eur J Appl Physiol*; 46: 47-53

Cita Original

Leveritt M, Abernethy PJ, Barry BK, Logan PA. (1999) Concurrent Strength and Endurance Training: A Review. *Sports Med*; 28(6): 413-427]