

Monograph

Los Efectos de la Puesta a Punto Sobre el Rendimiento en Fuerza, en Deportistas Entrenados

Duncan Mac Dougall¹, Digby Sale¹ y Martin J Gibala¹¹Departamento de Kinesiología, McMaster University, Hamilton, Ontario Canadá.

RESUMEN

No se conoce el procedimiento óptimo para la puesta a punto (*"taper"*) pre-competitiva en deportistas de fuerza. En el presente estudio investigamos la fuerza voluntaria y las propiedades contráctiles evocadas de los flexores del codo, durante un período de 10 días de descanso solamente (TDS), y con 10 días de puesta a punto con volumen reducido (TVR), en ocho varones entrenados en la fuerza (23 ± 2.1 años). Luego de 3 semanas de entrenamiento estándar de los flexores del codo, los sujetos fueron aleatoriamente asignados a uno de los grupos de puesta a punto. Luego de la finalización, siguieron entrenando durante 3 semanas y completaron la otra puesta a punto. Durante el TDS no se realizó entrenamiento con los brazos, mientras que en el TVR se realizó entrenamiento de alta intensidad y bajo volumen cada dos días. Antes y después de cada fase de entrenamiento, y cada 48 hs. Durante cada período de puesta a punto, se midió la fuerza en una contracción isométrica máxima (CVM), el torque pico concéntrico a baja (0.52 rad/s; VB) y alta velocidad (3.14 rad/s; VA), y las propiedades contráctiles durante una contracción isométrica evocada. La comparación con ANOVA entre los diferentes períodos de puesta a punto reveló que la CVM aumentó ($P < 0.05$) por encima de los valores pre-*"taper"* a través del TVR (días de medición: 2, 4, 6, 8, y 10), así como la VB en los días 2, 4, 6, y 8. La CVM no cambió durante el TDS pero la VB fue significativamente mayor en el día 2 y menor en los días 8 y 10. La VB también fue mayor en los días 4, 6, 8 y 10 durante el TVR, en comparación con el TDS. Las propiedades contráctiles evocadas permanecieron en gran parte sin cambio. Los datos indican que los deportistas entrenados en la fuerza pueden mejorar la fuerza concéntrica de baja velocidad, durante al menos 8 días, reduciendo bastante el volumen de entrenamiento, pero manteniendo la intensidad.

Palabras Clave: rendimiento de fuerza, característica de las fibras, intensidad de entrenamiento, puesta a punto

INTRODUCCION

El entrenamiento progresivo de sobrecarga aumenta la fuerza y el tamaño muscular (1, 20). Se cree que los rápidos aumentos iniciales en la fuerza reflejan las adaptaciones dentro del sistema nervioso, mientras que los aumentos posteriores más graduales generalmente son atribuidos a incrementos en el tamaño muscular (25). Luego de varios meses de entrenamiento de la fuerza, las adaptaciones neuromusculares adicionales son mínimas (15, 16), y por lo general se cree que el volumen e intensidad del entrenamiento en este punto debe ser muy alto con el fin de producir mayores aumentos en la fuerza (15). Sin embargo, un elevado volumen total de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad podría afectar de manera adversa al rendimiento (13, 30). El estímulo de entrenamiento necesario para maximizar el rendimiento puede, por lo tanto convertirse en causa de fatiga lo cual perjudicaría el rendimiento. En tal caso, la reducción del volumen de entrenamiento puede mejorar el rendimiento permitiendo la recuperación de la fatiga antes de que ocurra un

desentrenamiento (30).

La puesta a punto ("taper") es el término comúnmente aplicado a la reducción a corto plazo en la carga de entrenamiento antes de la competencia. La periodización de la fuerza normalmente incorpora una fase de puesta a punto ("taper") para optimizar el rendimiento en un momento determinado (8, 30). Un procedimiento común es reducir, en un alto porcentaje, el volumen de entrenamiento, mientras que la intensidad se mantiene alta o incluso se incrementa (6, 8, 30, 31). A pesar de la gran aceptación de ésta práctica, y de su efectividad percibida, poco se sabe con respecto a los cambios neuromusculares que ocurren en respuesta al período de puesta a punto. Varios estudios han examinado la respuesta neuromuscular al desentrenamiento (5, 11, 14, 18, 19, 23, 29), o luego de un período de entrenamiento reducido (10), pero la duración del desentrenamiento o del entrenamiento reducido en estas investigaciones (6-12) fue considerablemente mayor que la breve reducción en el entrenamiento utilizada por los deportistas, inmediatamente antes de una competencia importante. Häkkinen et al (1991) examinaron los efectos de 1 semana de "entrenamiento reducido" y no observaron cambios significativos en la fuerza, pero los resultados del estudio estuvieron aparentemente interferidos por las historias heterogéneas de entrenamiento de los sujetos (12).

Hasta lo que sabemos, no se ha investigado en forma sistemática la efectividad de los distintos tipos de puesta a punto sobre el rendimiento en fuerza. El propósito de la presente investigación fue examinar los cambios en la fuerza voluntaria, y eléctricamente evocada, que ocurrieron en respuesta a dos fases diferentes de puesta a punto de 10 días, en deportistas de fuerza bien entrenados. Durante una puesta a punto la intensidad del entrenamiento se mantuvo pero el volumen se redujo progresivamente, mientras que la otra puesta a punto consistió de descanso solamente.

MÉTODOS

Sujetos

Ocho varones sanos (edad = 23.1 ± 2.1 años, estatura = 181.3 ± 8.5 cm, peso = 82.6 ± 7.0 kg) con una historia de al menos un año de entrenamiento regular de sobrecarga, fueron reclutados para la investigación. Se obtuvo el consentimiento informado de todos los sujetos de acuerdo a los Procedimientos de Ética Humana de la Universidad.

Diseño

Los sujetos fueron evaluados al comienzo del estudio para determinar los ejercicios, el volumen de entrenamiento, y las frecuencias que se utilizarían para los flexores del codo. A pesar de que todos los programas fueron similares, algunos fueron modificados levemente para que todos los sujetos entrenaran de manera idéntica a lo largo del estudio. Específicamente, las sesiones de entrenamiento fueron estandarizadas, y consistieron de 4 series de flexiones con mancuernas en un banco para flexiones, y 4 series de flexiones alternadas con pesas en posición de sentado. La intensidad de entrenamiento fue establecida como 6 repeticiones hasta el agotamiento por serie (6 RM) con 3 min de recuperación entre series. Los sujetos podrían seguir entrenando otros grupos musculares principales durante la investigación (suponiendo que los ejercicios habían sido parte de su programa normal de entrenamiento), pero cualquier ejercicio que pudiera haber reclutado los músculos de los brazos fue descartado.

Luego de 3 semanas de entrenamiento de los flexores del codo (2 sesiones / semana), los sujetos fueron asignados de manera aleatoria, en un orden contrabalanceado, ya sea al grupo de puesta a punto con descanso solamente (TDS), o de puesta a punto con volumen reducido (TVR). Luego de la finalización del período de puesta a punto volvieron al entrenamiento estandarizado durante 3 semanas antes de completar la segunda puesta a punto, de manera que cada sujeto completó ambos protocolos de puesta a punto. Durante el TDS no se realizó ningún entrenamiento, mientras que el TVR consistió de entrenamiento de alta intensidad y bajo volumen realizado cada 2 días (el volumen se redujo disminuyendo progresivamente el número de series realizadas, pero la intensidad permaneció constante a 6 RM). Específicamente, el TVR consistió de 5 sesiones de entrenamiento: 3 series de ejercicios de flexión con mancuernas fueron realizados en el primer día de la puesta a punto (Día 0), 2 series en los Días 2, y 4, y una en los Días 6, y 8. Por lo tanto, durante el TVR el volumen disminuyó un 38 % en relación al desarrollado durante el período de entrenamiento estandarizado. [Para determinar esto definimos volumen de entrenamiento como el número de series x repeticiones x carga (32)]. Debido a que el número de repeticiones por serie y la sobrecarga no cambiaron durante el transcurso de la investigación, el volumen varió directamente con el número de series realizadas. Durante los períodos de entrenamiento estandarizado, en cada sesión se llevaron a cabo un total de 8 series. Se completaron seis sesiones de entrenamiento en total durante cada período de 3 semanas (21 días), o $6 \times 8 = 48$ series en total. Esto es equivalente a 24 series en 10.5 días. Durante el TVR, se realizaron 9 series en total durante el período de 10 días de puesta a punto. Para aproximar la reducción en el volumen de entrenamiento durante la puesta a punto, dividimos el número de series desarrolladas durante la TVR por el número de

series en 10.5 días durante el período de entrenamiento estandarizado. O sea, $9/24 = 37.5 \%$.

Mediciones

Se midió el máximo torque isométrico voluntario, el máximo torque concéntrico a baja y alta velocidad, y las propiedades contráctiles isométricas evocadas de las fibras de los flexores del codo, al final de cada sesión estandarizada (48hs. después de la última serie de entrenamiento y considerada como "inicial"), y cada 48 hs (días 2, 4, 6, 8 y 10) durante cada período de puesta a punto. En cada día de evaluación, durante el TVR, las mediciones se llevaron a cabo antes de la sesión de entrenamiento con el fin de maximizar el tiempo de recuperación desde la sesión anterior

Fuerza isométrica y propiedades contráctiles evocadas

El máximo torque isométrico voluntario y las propiedades isométricas evocadas de los flexores del codo fueron medidos con un dinamómetro en la forma descrita en otro trabajo (22). Brevemente, la parte superior del brazo descansaba en un plato horizontal y el antebrazo en posición supina era asegurado con cintas en el plato vertical a un segundo plato. Los dos platos eran asegurados y fijados para producir un ángulo en la articulación del codo de 1.83 radianes (105 grados; $3.14 \text{ rad} = 180 \text{ grados} = \text{extensión total del codo}$). La investigación previa llevada a cabo con éste aparato ha demostrado que éste ángulo articular cae en el pico plano de la curva de fuerza isométrica para atletas entrenados (33), y cerca del punto máximo de la curva de torque (24). A través de un sistema de tensores de estiramiento se transducían las señales de torque. La señal de torque fue amplificada y convertida a señal digital y alimentada a un osciloscopio de almacenamiento (Hewlett-Packard 1201 B) para la observación visual y a una computadora (Digital Equipment PDP 11-03) para el análisis *on-line*.

Las contracciones isométricas máximas de los flexores del codo fueron evocadas por estimulación percutánea. Grandes electrodos (3 x 4 cm) fueron colocados en el bíceps braquial y en el compartimiento flexor del antebrazo. Estos sitios fueron marcados con tinta indeleble para asegurar que los electrodos estuvieran en la misma posición en cada sesión de medición. Se colocó crema conductora en los electrodos antes de asegurarlos al brazo con cinta quirúrgica. Se enviaron estímulos de 50 o 100 us cuadrados (modelo digitimer estimulador 3072) con voltaje progresivo hasta que no se observaba ningún aumento más en el torque en el osciloscopio. Se asumió que se lograba activación total del músculo cuando el torque de las fibras no se incrementaba con mayores aumentos en la intensidad de estímulo. La intensidad de voltaje en la activación total varió de 200 a 400 V. Un programa de ordenador permitió medir el torque máximo (N.m), el tiempo hasta el torque máximo (ms), el tiempo medio de relajación (ms), y la tasa máxima del desarrollo de torque (N.m/s). Se administraron y registraron 3 series separadas, y el mayor torque fue elegido para el análisis estadístico. Las contracciones fueron evocadas antes de las mediciones isométricas voluntarias (CVM) para evitar efectos de potenciación. La producibilidad test-retest (coeficiente de variación) de las contracciones evocadas y de la CVM utilizando éste sistema, varía del 3 a 7 %.

La CVM fue considerada como la máxima producción de fuerza en un esfuerzo de 5 segundos. Se ha mostrado que esta duración es adecuada para sujetos que alcanzan la fuerza pico (26). Se llevaron a cabo 3 series, separadas con una pausa de 90s y el valor más alto fue elegido como torque pico. La técnica de contracción interpolada, descrita previamente (3), fue utilizada para evaluar la amplitud de la activación de las unidades motoras durante contracciones voluntarias máximas. Brevemente, si la aplicación de un estímulo indirecto máximo durante una contracción voluntaria máxima no puede provocar ningún incremento adicional en el torque, se considera que todas las unidades motoras están reclutadas y se contraen a frecuencias óptimas para el desarrollo de tensión.

Fuerza Concéntrica

La fuerza concéntrica máxima de los flexores del codo fue determinada con un dinamómetro isocinético (Cybex II). Los términos velocidades "baja" (VB) y "alta" (VA) corresponden a velocidades angulares de 0.52 rad/s (30 grados/seg) y 3.14 rad/s (180 grados/s), respectivamente. El test de fuerza de los flexores del codo se llevó a cabo de la manera descrita previamente (27). El sujeto se sentaba con la parte superior del brazo en una tablilla y el eje de la articulación del codo se alineaba con el eje de la palanca del dinamómetro. Tomaba el brazo de la palanca con el antebrazo y comenzaban las contracciones con el codo totalmente extendido. Se permitieron de dos a cuatro series submáximas como entrada en calor, seguidas por 1-2 min de descanso. Luego se realizaban dos acciones concéntricas máximas separadas por 1 min de pausa, en cada velocidad. El mayor valor obtenido en cada velocidad era utilizado para los análisis estadísticos. Para los tests, se le pidió a los sujetos que continuaran ejerciendo el máximo esfuerzo a lo largo de todo el rango de movimiento. Los tests de velocidad fueron administrados en el orden de lentos a rápidos, tal como lo fuera sugerido por Sale (26).

Las señales de torque del dinamómetro fueron registradas en un oscilógrafo de dos canales (Hewlett Packard 7402A), y analizadas para el torque de impacto (condición VA solamente) y torque pico. El torque de impacto puede ser definido como una sobreabundancia de torque inicial, resultante de la extremidad en aceleración; el torque pico es el mayor torque producido después del torque de impacto (para una discusión detallada del torque de impacto vs. torque pico, ver Sale, ref.

Análisis Estadísticos

Con el fin de comparar la efectividad de los dos protocolos de puesta a punto, los datos absolutos para cada variable dependiente fueron analizados utilizando un ANOVA de dos factores (2 x 6; puesta a punto x día de evaluación) para mediciones repetidas. Se aceptó una significancia estadística de $p < 0.05$. Las interacciones significativas y los efectos principales fueron analizados utilizando el test post hoc de Tukey.

RESULTADOS

Fuerza isométrica

En la tabla 1 se representan los datos del máximo torque isométrico (CVM). El análisis de varianza ANOVA reveló una interacción significativa ($p < 0.05$) puesta a punto x día para la CVM. Los valores permanecieron estadísticamente sin cambios en relación a los niveles iniciales durante el TDS, pero aumentaron ($p < 0.05$) a partir de estos últimos durante todo el TVR (días 2, 4, 6, 8, y 10). Sin embargo, el análisis de varianza ANOVA reveló que el valor inicial para el TDS fue mayor ($p < 0.05$) que para el TVR. Los cambios en la CVM durante ambas puestas a punto (expresado en porcentaje de cambio) están ilustrados en la Figura 1. La activación de unidades motoras no cambió significativamente durante ninguno de los tipos de puesta a punto (Tabla 1).

| | CVN (N.m) | AUM (%) | VB (N.m) | VA (N.m) | TI (N.m) |
|-------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| TDS inicial | 98.5±15.2 | 98.09±1.6 | 74.3±17.5 | 53.4±17.5 | 68.9±22.1 |
| TDS Día 2 | 98.4±17.2 | 99.2±1.1 | 78.0±14.7* | 52.1±16.3 | 70.0±16.6 |
| TDS Día 4 | 99.8±17.9 | 98.8±3.5 | 75.6±14.8 | 54.0±16.3 | 75.4±15.4 |
| TDS Día 6 | 98.7±19.0 | 99.1±1.2 | 73.3±14.6 | 55.3±16.3 | 73.6±18.0 |
| TDS Día 8 | 97.1±17.9 | 99.0±1.3 | 71.6±15.0* | 54.0±16.3 | 73.5±17.4 |
| TDS Día 10 | 96.6±19.1 | 98.6±2.3 | 68.3±15.2 | 52.6±13.8 | 78.5±15.5 |
| TVR inicial | 92.5±18.1+ | 98.6±2.3 | 73.9±18.1 | 54.0±19.2 | 69.3±20.2 |
| TVR Día 2 | 97.4±17.2* | 99.8±0.6 | 77.1±18.0* | 54.3±16.4 | 66.9±17.2 |
| TVR Día 4 | 96.3±15.3*+ | 99.8±0.8 | 79.6±18.9*+ | 52.8±18.0 | 66.3±16.5 |
| TVR Día 6 | 99.4±16.7* | 99.3±1.5 | 77.5±19.8*+ | 52.0±15.7 | 69.4±21.1 |
| TVR Día 8 | 99.1±15.8* | 99.4±1.7 | 76.3±19.1*+ | 55.1±15.1 | 75.4±23.1 |
| TVR Día 10 | 98.8±19.4* | 99.5±1.0 | 76.0±17.3+ | 53.3±14.6 | 70.8±24.0 |

Tabla 1. Mediciones de la fuerza voluntaria y de la activación de unidades motoras. Mediciones de la fuerza voluntaria de los flexores del codo (los valores representan las medias \pm DE al comienzo (inicial) y en cada día de medición durante el la puesta a punto con descanso solamente (TDS), y durante la puesta a punto con volumen reducido (TVR). CVM= torque isométrico máximo, AUM = activación de unidades motoras, VB= torque concéntrico a velocidad baja (0.52 rad/s), VA= torque concéntrico a velocidad alta (3.14 rad/s). TI=torque de impacto a alta velocidad (*) $p < 0.05$ en comparación con el valor inicial de la misma puesta a punto (+) $p < 0.05$ entre distintos tipos de puesta a punto al mismo momento de evaluación.

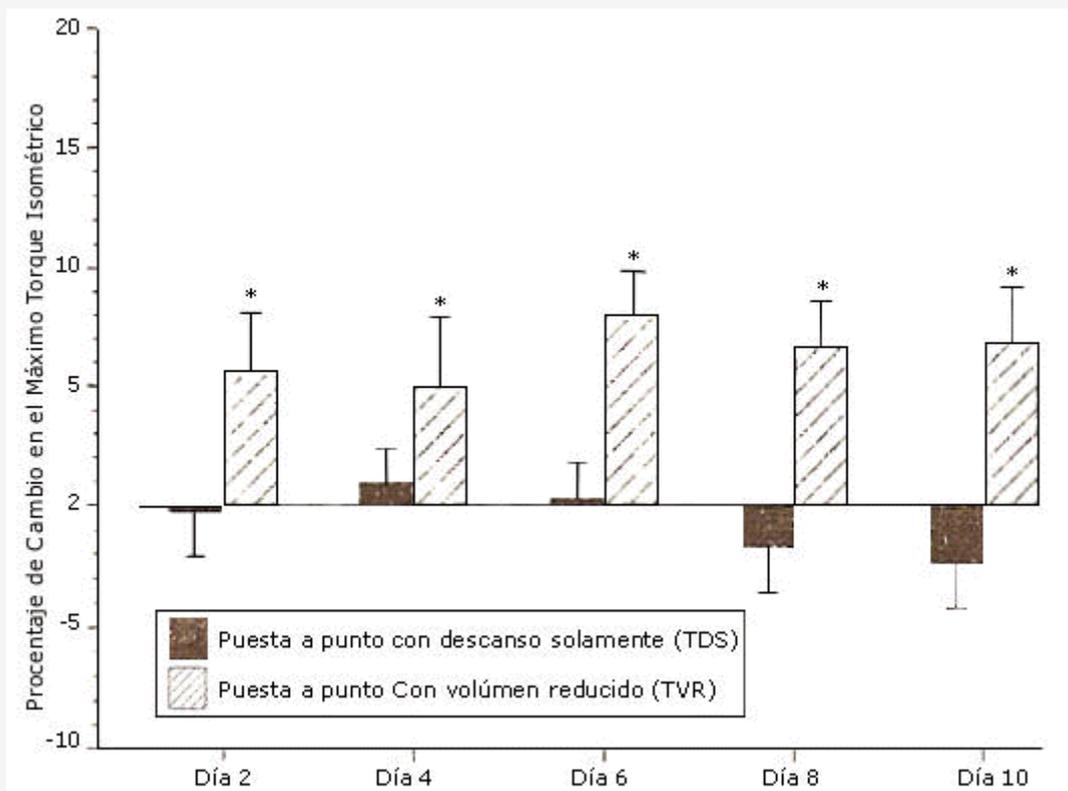


Figura 1. Cambios en el máximo torque isométrico (CVM) de los flexores del codo durante cada período de puesta a punto (n = 8). Observar que a pesar de que se utilizaron los valores absolutos para los análisis estadísticos, los datos están presentados como porcentaje de cambios desde el nivel inicial para mayor claridad que la ilustración. Los valores representan las media \pm EEM. (*) $p < 0.05$ en comparación con el valor inicial de la misma puesta a punto.

Fuerza concéntrica

En la Tabla 1 se presentan los datos del torque concéntrico máximo a baja (VB) y alta (VA) velocidad, y los datos del torque de impacto. Los análisis ANOVA revelaron que los valores iniciales del TDS para el VB, el VA, y torque de impacto no fueron significativamente diferentes de los valores iniciales correspondientes para el TVR. Los análisis revelaron además una interacción significativa ($p < 0.05$) puesta a punto x día para el VB: los valores fueron mayores durante el TVR, en comparación con el TDS en los días 4, 6, 8, y 10. Además, el VB fue mayor ($p < 0.05$) que los valores iniciales en los días 2, 4, 6 y 8 durante el TVR. Durante el TDS, el VB fue mayor ($p < 0.05$) que los valores iniciales en el día 2, y menor en los días 8 y 10. Los cambios en el VB durante ambos tipos de puesta a punto (expresados como porcentajes de cambio) están resumidos en la Figura 2. El VA y el torque de impacto permanecieron estadísticamente sin cambios durante ambas puestas a punto.

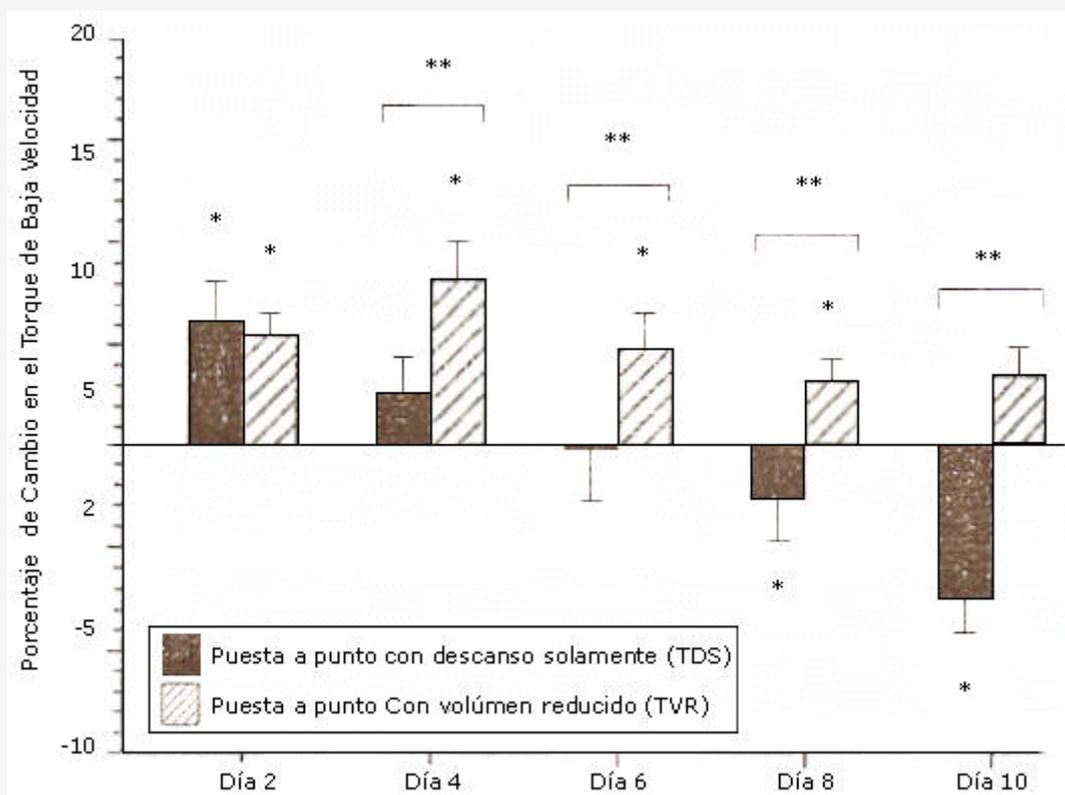


Figura 2. Cambios en el máximo torque concéntrico de baja velocidad (VB) de los flexores del codo, durante cada período de puesta a punto (n=8). Observar que a pesar de que se utilizaron los valores absolutos para los análisis estadísticos, los datos están presentados como porcentajes de cambio desde el nivel inicial para mayor claridad de la ilustración. Los valores representan las medias \pm EEM. (*) $p < 0.05$ en comparación con el valor inicial de la misma puesta a punto (**) ($p < 0.05$) entre tipos de puesta a punto en el mismo momento de evaluación.

Propiedades Contráctiles Evocadas

En la Tabla 2 se resumen los cambios en el torque máximo (TM), tiempo hasta el torque máximo (TTM), tiempo medio de relajación (TMR), y tasa máxima de desarrollo de torque (TMDT). Estas variables permanecieron sin cambio durante ambos tipos de puesta a punto.

| | TM (N.m) | TM (ms) | TMR (ms) | TMDT (N.m/s) |
|-------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| TDS Inicial | 7.56 \pm 1.3 | 67.9 \pm 11.6 | 71.2 \pm 9.3 | 207.1 \pm 45.6 |
| TDS Día 2 | 7.96 \pm 2.6 | 64.2 \pm 13.7 | 73.3 \pm 9.4 | 220.6 \pm 89.7 |
| TDS Día 4 | 7.84 \pm 1.8 | 69.1 \pm 12.0 | 69.3 \pm 7.1 | 193.1 \pm 51.6 |
| TDS Día 6 | 8.00 \pm 1.9 | 61.2 \pm 14.6 | 69.9 \pm 12.6 | 229.1 \pm 65.0 |
| TDS Día 8 | 7.74 \pm 2.9 | 52.9 \pm 10.4 | 70.3 \pm 16.4 | 211.0 \pm 85.0 |
| TDS Día 10 | 8.40 \pm 2.7 | 64.2 \pm 9.6 | 74.1 \pm 11.2 | 236.7 \pm 89.8* |
| TVR Inicial | 6.50 \pm 1.8 | 62.9 \pm 4.6 | 72.4 \pm 13.8 | 174.2 \pm 52.7+ |
| TDS Día 2 | 7.33 \pm 2.4 | 65.6 \pm 10.5 | 73.2 \pm 13.1 | 194.3 \pm 64.9 |
| TDS Día 4 | 7.05 \pm 2.5 | 67.8 \pm 11.3 | 70.9 \pm 13.6 | 189.8 \pm 74.4 |
| TDS Día 6 | 7.55 \pm 1.8 | 66.9 \pm 11.6 | 69.2 \pm 12.4 | 193.8 \pm 41.5+ |
| TDS Día 8 | 8.40 \pm 3.1 | 62.3 \pm 14.1 | 73.3 \pm 12.5 | 238.4 \pm 80.0* |
| TDS Día 10 | 8.13 \pm 2.0 | 64.9 \pm 6.6 | 72.6 \pm 14.7 | 227.0 \pm 65.1* |

Tabla 2. Propiedades contráctiles evocadas de los flexores del codo. Propiedades contráctiles evocadas de los flexores del codo (los valores representan las medias \pm DE), al comienzo (inicial) y en cada día de evaluación durante la puesta a punto con descanso solamente (TDS) vs la puesta a punto con volumen reducido (TVR). M = torque máximo, TTM = tiempo hasta el torque máximo, TMR

= tiempo medio de relajación, TMDT = tasa máxima de desarrollo de torque. (*) $p < 0.05$ en comparación con el valor inicial de la misma puesta a punto. (+) $p < 0.05$ entre tipos de puesta a punto al mismo momento de evaluación.

DISCUSION

El principal hallazgo de la presente investigación fue que los deportistas entrenados en fuerza fueron capaces de aumentar significativamente la fuerza voluntaria de los flexores del codo reduciendo el volumen de entrenamiento pero manteniendo la intensidad, durante al menos 8 días. Durante la puesta a punto con volumen reducido (TVR), el máximo torque isométrico voluntario (CVM) aumentó significativamente por encima de los valores iniciales en cada día de evaluación. En comparación, los CVM permanecieron sin cambios en relación a los valores iniciales durante la puesta a punto con descanso solamente (TDS). Sin embargo, se debería observar que debido a que los CVM iniciales fueron sorprendentemente mas bajos antes del TVR que antes del TDS, puede ser erróneo interpretar estos datos como indicaciones que el TVR fue superior para mejorar el rendimiento en la fuerza isométrica.

Los datos del máximo torque concéntrico de velocidad baja (VB) son mucho mas completos, ya que los valores iniciales del VB fueron los mismos antes de ambas puestas a punto. Durante el TDS, el VB se incrementó significativamente en el día 2, pero disminuyó por debajo de los valores iniciales en los días 8 y 10. Por el contrario, durante el TVR los sujetos mostraron un incremento prolongado en el VB, con mediciones significativamente mayores que las iniciales en los días 2, 4, 6, y 8. La efectividad del TVR también está indicada por la interacción significativa puesta a punto x día para el VB, la cual fue mayor durante el TVR, en comparación con el TDS en los días 2, 4, 6, 8 y 10. Por lo tanto, estos datos sugieren que la fuerza concéntrica de baja velocidad de los flexores del codo esta suprimida por el entrenamiento crónico e intenso de fuerza. Esta observación es coincidente con una investigación previa con atletas de fuerza de élite, la cual demostró que un alto volumen total de entrenamiento de fuerza de alta intensidad puede perjudicar temporariamente el rendimiento neuromuscular del cuadriceps (13). Una investigación reciente sobre los efectos de la puesta a punto, en corredores de media distancia altamente entrenados indicó que la fuerza voluntaria del cuadriceps aumentaba luego de un TDS o TVR, así como de una puesta a punto de baja intensidad y alto volumen (28). Sin embargo, los mecanismos que pueden suprimir la fuerza durante el entrenamiento crónico e intenso de resistencia probablemente son diferentes de los que afectan a la fuerza durante períodos de entrenamiento de sobrecarga de alta intensidad.

El rendimiento de la fuerza voluntaria esta determinado por dos factores principales: (1) el número de miofilamentos en paralelo, y (2) la capacidad del sistema nervioso central (SNC) para activar totalmente el músculo. Los cambios en la fuerza voluntaria observados durante las dos fases de puesta a punto pueden, por lo tanto, ser el resultado de cambios ya sea en los músculos o en SNC. La rapidez con la cual la CVM y el VB aumentaron durante el TVR sugiere que las mejorías en la fuerza pueden haber estado mediadas principalmente por cambios neurológicos. Si esto fuese así, sería de esperar que tales cambios hubieran afectado la activación de las unidades motoras (AUM). En la presente investigación se utilizó la técnica de contracción interpolada (TI) para evaluar el grado de AUM. Estos resultados indicaron que los flexores del codo fueron casi totalmente activados en el período inicial y que no ocurrieron cambios en la AUM durante ninguna de las dos puestas a punto indicando, por lo tanto, que los cambios neurológicos contribuyeron muy poco a la recuperación de la fuerza isométrica. Sin embargo, recientemente se ha demostrado que, a niveles de fuerza menores al 100% de CVM, puede producirse la oclusión de las fibras (17) y, por lo tanto, la técnica TI puede no ser capaz de discriminar leves mejorías en la AUM en los niveles mas altos de esfuerzo voluntario. Por lo tanto es posible que algún componente neurológico pueda haber afectado nuestros resultados, pero la técnica que utilizamos no fue lo suficientemente sensible para detectarlo. La evaluación electromiográfica integrada convencional (EMGI) puede haber sido más sensible. A este respecto, un estudio previo mostró un aumento en la EMGI luego de un período de entrenamiento reducido (12).

Una posibilidad alternativa es que los cambios en la fuerza voluntaria observados durante el TVR se pudieran haber debido a cambios al nivel muscular. Se sabe que la finalización del entrenamiento produce una pérdida de proteínas contráctiles y una reducción en el número de total de puentes cruzados de miosina (21), pero no se conoce bien la tasa a la cual ocurren estos cambios durante el desentrenamiento. Se ha observado que el período de tiempo para el "turnover" (o recambio) de las proteínas contráctiles de los seres humanos es de 7 a 15 días (9). Si se supone que una vez que ha finalizado el estímulo de entrenamiento la proteína contráctil no es más reemplazada a la tasa a la cual está siendo removida, entonces se puede producir algún grado de atrofia durante los diez días del TDS. Si fue así, se puede especular que esto puede haber sido responsable, en parte, de la disminuciones significativas en el VB que se observaron en los días 8 y 10 del TDS. El aumento significativo en el VB en el día 2 puede haber sido el resultado de un período transitorio durante el cual habría ocurrido un incremento en la síntesis de proteínas en respuesta al entrenamiento previo (4), pero sin que haya comenzado aún una atrofia muscular. Sin embargo, reconocemos que esta razón no puede explicar por qué las otras variables de fuerza no disminuyeron en los días 8 y 10 del TDS.

Por el contrario, el entrenamiento breve de alta intensidad realizado durante el TVR puede haber constituido un estímulo suficiente para preservar las proteínas contráctiles. Nuestros datos que indican que la fuerza de alta velocidad no mejoró con el TVR pueden sugerir que no se produjo una adaptación a nivel muscular, ya que esto implica un efecto de puesta a punto específico a la velocidad mediada neurológicamente (25). El tipo de entrenamiento normalmente utilizado por los deportistas de fuerza comprende velocidades de contracción relativamente bajas debido a las altas cargas que son utilizadas (13). Sin embargo, distintos estudios han sugerido que los aumentos en la fuerza no siempre son específicos de la velocidad de contracción utilizada en el entrenamiento (para una revisión, ver Behm y Sale, ref. 2). Alternativamente, se ha demostrado que la fuerza de alta velocidad se ve más afectada por el daño muscular inducido por el ejercicio, probablemente debido al mayor daño observado en las fibras de Tipo II (7). Por lo tanto, en la presente investigación es posible que la fuerza de alta velocidad permaneciera reducida aunque estuviese recuperada la fuerza de baja velocidad.

En conclusión, nuestros resultados indican que los deportistas de fuerza bien entrenados pueden mejorar el rendimiento de fuerza de baja velocidad, durante al menos 8 días, como resultado de un período de puesta a punto en el cual el volumen de entrenamiento es ampliamente reducido, pero la intensidad de entrenamiento permanece alta. Las mejorías pueden ser el resultado de un mayor rendimiento contráctil, o de un aumento en la activación neurológica. Nosotros reconocemos que la aplicación de nuestros resultados a una estrategia concreta de puesta a punto para un determinado deportista, o una situación competitiva, puede estar limitada por los grupos musculares que nosotros estudiamos, así como por el tipo de programa de entrenamiento que nuestros sujetos llevaron a cabo para concluir con las puestas a punto. En el presente estudio se eligió el grupo de los flexores del brazo para poder incluir mediciones de las propiedades contráctiles evocadas (especialmente la activación de unidades motoras). Tales mediciones requieren un movimiento articular simple y son más efectivas cuando se evalúa un grupo muscular relativamente pequeño. No se sabe el grado en el cual los flexores de brazo pueden ser representativos de grupos musculares mayores involucrados en movimientos multi-articulares más complejos. De manera similar, aunque nosotros consideramos que el programa de entrenamiento utilizado por nuestros sujetos ejemplifica un programa de alto volumen e intensidad para el desarrollo de la fuerza básica (30), puede ser diferente del utilizado por algunos deportistas. Por lo tanto, son necesarias investigaciones/modificaciones adicionales para determinar la puesta a punto óptima para un deporte o situación específica.

Agradecimientos

Este estudio estuvo respaldado por el Consejo de Investigación de Ciencias Naturales e Ingeniería de Canadá.

REFERENCIAS

1. Atha J (1981). Strengthening muscle Exerc. *Sport Sci Rev* 9:1-73
2. Behm D.G., Sale D.G (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Med*.15:374-388
3. Belanger A. Y., McComas A.J (1981). Excent of motor unit activation during effort. *J. Appl Physiol* 51: 160-167
4. Chesley A., MacDougall J. D., Tarnopolsky M. A., Atkinson S. A., Smith K. A (1992). Changes in humans muscle protheïn synthesis after resistance exercise. *J. Appl Physiol* 73:1383-1388
5. Colliander E. B., Tesh P. A (1992). Effects of detraining following short term resistance training of eccentric and concentric muscle strength. *Acta Physiol Scand* 144: 23-29
6. Fleck S. J., Kraemer W.J (1987). Designing Resistance Training Programns. *Champaign, IL, Human Kinetics*, pp 213-233
7. Garhammer J., Takano B (1992). Training for wheighthlifting. In Komi P.V. (ed.):*Streng and Power in Sport. Oxford, Blackwell Scientific Publications*, pp 357-369
8. Goldspink G (1988). Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. In Komi P.V. (ed.):*Streng and Power in Sport. Oxford, Blackwell Scientific Publications*, 1992, pp 316-319
9. Graves J. E., Pollock M. L., Leggett S. H., Braith R. W., Carpenter D. M., Bishop L. E (1988). Effect of reducerd training frecuency on muscular strength. *Int J Sports Med* 9:316-319
10. Harris R., Buchanen P., Dudley G (1991). Superimposition of twitch stimulation on voluntary efforts of the cuadriceps. *Med cci sports exerc* 23:563
11. Houston M. A., Froese E. A., Valeriote S. P., Green II. J., Ranney D (1983). Strength training and detraining: A one leg model. *Eur J Appl Physiol*, 21: 25-35
12. Ishida K., Moritani T., Itoh K (1990). Changes in voluntary and electrically induced contractions during strength training and detraining. *Eur J Appl Physiol* 60: 244-248
13. MacDougall J (1986). Morfological changes in human skeletal muscle followind strenth trainind and inmovilization in Jones M. L., Mc Cartney N., Mc Comas A. J. (eds) *Human Muscle Power. Champaign, IL. Human Kinetics*, pp 269-284
14. MacDougall J. D., Elder G. C. B., Sale D. G., Moroz J. R., Sutton J. R (1980). Effects of strengt training and immobilization on human muscle fibres. *Eur J Appl Physiol* 43: 25-44
15. Mc Cartney N., Moroz D., Garner S. H., Mc Comas A. L (1988). The effects of strength training impatiens with selected neuromuscular disorders. *Med Sci Sports Exercs* 20: 326-368

16. Narici M. V., Roi G. S., Landoni L., Minetti A. E., Cerretelli P (1989). Changes in force, Cross-Sectional area and neural activation during strength training and detraining on the human quadriceps. *Eur J Appl Physiol* 59: 310-319
17. Sale D. G (1992). Neural adaptation to strength training, in Komi P. V. (ed): *Strength and Power in Sports. Oxford Blackwell Scientific Publications*. pp 249-265
18. Sale D. G (1991). Testing strength and power, in MacDougall J.D., Wenger H. A., Green II. J. (eds) : *Physiological Testing of the High Performance Athlete* (2nd ed). Champaign, IL, *Human Kinetics*, pp 21-18
19. Sale D. G., MacDougall J.D., Alway S. E., Sutton J. R (1987). Voluntary strength and muscle characteristics in untrained men and women and in male bodybuilders. *J Appl Physiol* 62: 1786-1793
20. Shepley B., MacDowell J.D., Cipriano N., Sutton J. R., Tarnopolsky M. A., Coates G (1992). Physiological effects of tapering in highly trained athletes. *J Appl Physiol* 72: 1-6
21. Staron R. S., Leonardi M. J., Karapondo D. L., Malicky E. S., Falkel J. E., Hagerman F. C., Hakida R. S (1991). Strength and skeletal muscle adaptations in heavy resistance trained women after detraining and retraining. *J Appl Physiol* 70: 631-340
22. Tesh P. A (1992). Training for bodybuilding, in Komi P. V. (ed): *Strength and Power in Sport. Oxford, Blackwell Scientific Publications*, pp 370-380

Cita Original

M. J. Gibala, J. D. MacDougall, D.G. Sale Los Efectos de la Puesta a Punto Sobre el Rendimiento en Fuerza, en *Deportistas Entrenados Resúmenes del Simposio Internacional de Actualización en Ciencias Aplicadas al Deporte*, Biosystem, 336-342 (1999)