

Monograph

Efectos Agudos y Retardados de Siete Estímulos de Distinta Intensidad y Volumen Sobre la Capacidad de Salto Vertical

Prof. Mikel Izquierdo³ y Eduardo Saez Saez de Villarreal¹

¹Universidad Pablo de Olavide, Sevilla (España).

³Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte. Gobierno de Navarra. (España).

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de diferentes tipos de estímulos de entrada en calor de activación muscular sobre el rendimiento en la capacidad de salto luego de períodos de recuperación cortos (5 minutos después de la entrada en calor) y largos (6 horas después de la entrada en calor) luego de la entrada en calor. Doce jugadores de voleibol entrenados (21-24 años) realizaron diferentes tipos de estímulo de entrada en calor específicos (WP) luego de realizar mediciones en la condición inicial [e.g. salto con contramovimiento (CMJ) con y sin carga extra y saltos en profundidad (DJ)] en ocasiones separadas y aleatorias: 1) 3 series de 5 saltos con carga extra (WP1); 2) 2 series de 4 repeticiones con el 80% de 1RM en sentadilla paralela ($1RM_{ps}$) y 2 series de 2 repeticiones con el 85% de $1RM_{ps}$ (WP2); 3) 2 series de 4 repeticiones con el 80% de $1RM_{ps}$, 2 series de 2 repeticiones con el 90% de $1RM_{ps}$ y 2 series de 1 repetición con el 95% de $1RM_{ps}$ (WP3); 4) 3 series de 5 DJs (WP4); 5) entrada en calor específica para un partido de voleibol (WP5), 6) 3 series de 5 repeticiones con el 30% de $1RM_{ps}$ (WP6) y 7) condición experimental sin entrada en calor activa. La altura en el DJ se incrementó significativamente ($p < 0.05$) luego de WP1 (4,18%), WP2 (2,98%), WP3 (5,47%) y WP5 (4,49%). La máxima producción de potencia durante el CMJ con carga extra se incrementó significativamente ($p < 0.05$) luego de WP2 (11,39%), WP5 (10,90%), WP3 (9%) y WP1 (2,47%). La sobrecarga dinámica de alta intensidad (e.g. 80-95% de 1RM), así como el protocolo de entrada en calor específico para el voleibol produjeron los mayores efectos sobre las respuestas neuromusculares explosivas subsiguientes. Los efectos agudos sobre el rendimiento de salto luego de la entrada en calor fueron mantenidos luego de períodos de recuperación largos (e.g 6 horas luego de la entrada en calor), particularmente cuando previamente fueron realizadas acciones dinámicas de alta intensidad.

Palabras Clave: salto con contramovimiento, sentadilla paralela, potencia máxima, entrada en calor, capacidad de sal

INTRODUCCION

La explosividad de las acciones musculares o el grado al cual la fuerza puede ser aplicada (potencia) es uno de los factores más importantes en el rendimiento de muchos deportes (Young 1993; Abbate y col., 2000). Movimientos explosivos como el salto requieren una activación adecuada para prevenir lesiones y lograr altos niveles de producción de fuerza-explosiva. Recientes investigaciones proporcionan evidencias de que contracciones isométricas máximas voluntarias (Gullich y

Smichtbleicher 1996; Vandervoort y col., 1983; French y col., 2003) y acciones dinámicas máximas o de alta intensidad (de 1 a 5 repeticiones máximas en sentadilla/arrancadas) (Young y col., 1998; Gorgoulis y col., 2003; Abbate y col., 2000), pueden mejorar la fuerza explosiva máxima, incrementando la capacidad de salto vertical durante varios saltos con contramovimiento (CMJ), saltos en profundidad o drop jump (DJ) y pruebas de velocidad de 5 metros.

Varios estudios han centrado su atención en la mejora de la fuerza-explosiva utilizando protocolos de activación óptimos para mejorar el rendimiento en el salto vertical como contracciones isométricas máximas o series de repeticiones de baja intensidad (30% de 1RM), o cargas altas (1 o 5 repeticiones máximas), pero los resultados continúan siendo inconsistentes. Varios estudios muestran mejoras en la capacidad de salto vertical (CMJ, DJ, salto de longitud) (Gullich y Smichtbleicher 1996; Young y col., 1998; Gorgoulis y col., 2003) utilizando protocolos agudos con ejercicios con cargas altas (contracciones máximas voluntarias, sentadilla con el 5RM o protocolos con un incremento de la carga desde el 20% al 90% del RM). Otros estudios, sin embargo, no obtienen mejoras significativas en las acciones musculares del tren inferior o superior después de realizar acciones isométricas máximas durante 10 segundos o una combinación de acciones dinámicas máximas (ejercicios de media sentadilla o extensiones de rodilla) (Gossen y Sale 2000; Jones y Lees 2003). Por tanto, el protocolo de activación para la mejora del rendimiento en la explosividad de las acciones deportivas está todavía por determinar.

Las discrepancias entre estos estudios pueden ser parcialmente debidas a las diferencias en los protocolos de activación (grado de intensidad de la carga y tipo de contracción), el rendimiento muscular buscado (en el salto, en el lanzamiento) o el periodo de latencia entre el protocolo de activación y los cambios en el rendimiento y/o el grado de entrenamiento y tipo de fibra muscular de los sujetos (Sale 2002).

Estudios previos han encontrado mejoras en el rendimiento después de estímulos de activación máximos o cercanos al máximo tanto isométrica como dinámicamente. Sin embargo, la efectividad de estímulos de potencia específicos (la carga que produce la máxima potencia durante una sentadilla o la altura óptima para ejecutar un salto en profundidad o DJ) que podrían ser más similares a las condiciones de rendimiento muscular reales requeridas en las acciones explosivas, como medio específico de activación para mejorar el rendimiento en el salto, no han sido todavía examinadas. Por otro lado, una estrategia para optimizar la activación está también relacionada con los periodos de descanso entre el final del estímulo y el comienzo del rendimiento (Bishop 2003; Sale 2002). Algunas evidencias indican que una activación a moderada intensidad (3-5 min. de jogging a moderada intensidad) (Goodwin 2002), o uno que incluya medias sentadillas con un incremento moderado de la intensidad (Gorgoulis y col., 2003; Young y col., 1998) mejora el rendimiento del salto vertical a corto plazo (después de <5 minutos). Cuando son utilizados periodos de recuperación más largos (5-20 min.) parece ser que estas activaciones todavía mantienen el potencial para hacer mejorar el rendimiento, principalmente relacionados con los mismos mecanismos que hacen posible el rendimiento a corto plazo (un aumento de la rigidez muscular y una mejora de la relación fuerza-velocidad) (Bishop 2003). A pesar de la importancia de la activación previa para mejorar el rendimiento en el salto vertical ante cualquier prueba o sesión de trabajo, solamente un número limitado de estudios ha intentado optimizar cambios en la capacidad del salto después de esta activación.

Por otro lado, en la planificación actual del entrenamiento de fuerza, muchas de las sesiones de entrenamiento se doblan (mañana y tarde), y la información recogida acerca de los efectos de la activación sobre los sistemas muscular y nervioso podría ser de gran utilidad desde un punto de vista tanto científico como práctico (para optimizar la efectividad del calentamiento efectuado por la mañana sobre la competición oficial por la tarde, o para optimizar el uso de ejercicios con cargas altas por la mañana y una serie de ejercicios que enfatizan la velocidad y la potencia por la tarde).

El propósito de este estudio fue examinar el efecto de diferentes tipos de estímulos de activación/calentamiento muscular sobre la manifestación inmediata (después de 4-5 minutos) y retardada (después de 6 horas de recuperación) de la capacidad de salto con contramovimiento sin cargas, de salto con contramovimiento con la carga con la que se alcanza la máxima potencia y de salto en profundidad o *drop jump*.

MÉTODOS

Diseño Experimental

Este estudio fue diseñado para evaluar los efectos de diferentes tipos de activación concéntrica y de saltos como medio para un calentamiento efectivo para mejorar la explosividad del rendimiento en el salto vertical (tras un periodo corto de 5 min. y tras un periodo largo de 6 horas) de descanso. El estudio tuvo un diseño donde la asignación de los grupos fue al azar, el número de sujetos por grupo fue igual y se realizaron mediciones antes y después del tratamiento. Los sujetos fueron evaluados bajo siete condiciones experimentales diferentes en días no consecutivos (Tabla 1). El diseño permitió la

comparación de la efectividad de diferentes estímulos de activación (incluidos ejercicios de sentadillas con diferentes cargas y tipos de saltos).

Semanas	Días	Procedimiento	Descanso	Mediciones
1	L	1RM _{SP} /Máxima producción de potencia (SP)	2 min	Medición inicial
1	X	Carga con la que obtiene la máxima potencia (CMJ _c)	2 min	Medición inicial
1	V	CMJ/Altura óptima en salto DJ	15 seg	Medición inicial
2	M	EST 1 (3x5 saltos con carga óptima en CMJ _c)	1 min	Pre-estímulo/Post 5-min/Post 6-horas
2	J	EST 2 (2x4 reps x 80% 1RM _{SP} ; 2x3x85% 1RM _{SP})	1 min	Pre-estímulo/Post 5-min/Post 6-horas
3	M	EST 3 (2x4 reps x 80% 1RM _{SP} ; 2x2x90% 1RM _{SP} ; 2x1x95% 1RM _{SP})	1 min	Pre-estímulo/Post 5-min/Post 6-horas
3	J	EST 4 (3x5 DJ desde la altura óptima)	1 min	Pre-estímulo/Post 5-min/Post 6-horas
4	M	EST 5 (Calentamiento específico para partido de Voleibol)		Pre-estímulo/Post 5-min/Post 6-horas
4	J	EST 6 (3x5 reps x 30% 1RM _{SP})	1 min	Pre-estímulo/Post 5-min/Post 6-horas
4	Dom	Sin carga (control)		Pre-estímulo/Post 5-min/Post 6-horas

Tabla 1. Resumen de las mediciones y estímulos utilizados en el estudio. SP: Sentadilla hasta el paralelo con respecto al suelo; 1 RM: Una repetición máxima; EST: Estímulo; CMJ: Salto con contramovimiento; CMJ_c: Salto con contramovimiento con carga; DJ: Salto en profundidad o drop jump.

Sujetos

La muestra fue un grupo de 12 jugadores de Voleibol pertenecientes a un mismo equipo que juega en la Primera División Nacional, con edades comprendidas entre 21 y 26 años y con una experiencia media de 6 años. Los criterios de exclusión de la investigación fueron los siguientes: sujetos con problemas médicos potenciales o historial de patologías en tobillo, rodilla o espalda en los últimos tres meses antes del estudio, sujetos con problemas médicos u ortopédicos que comprometieran su participación o rendimiento en este estudio, o algún tipo de cirugía reconstructiva en la extremidad inferior en los últimos dos años, o problemas musculoesqueléticos sin resolver; sujetos que no estuvieran tomando o no hubieran tomado previamente esteroides anabólicos, hormona de crecimiento o algún tipo de droga para mejorar el rendimiento. Sin embargo, sujetos que estuvieran tomando vitaminas, minerales o suplementos naturales (excepto Monohidrato de Creatina) no fueron eliminados. Todos los participantes fueron informados detalladamente sobre el contenido del estudio, sus objetivos, sus posibles riesgos y beneficios, y todos ellos dieron su consentimiento por escrito antes de realizar los test iniciales y el tratamiento. El estudio fue realizado de acuerdo con la Declaración de Helsinki y entre los meses de abril y mayo, al final de la fase de competición. Durante los 7 meses anteriores al comienzo del estudio, los sujetos entrenaron 4 días a la semana como termino medio y jugaron un partido semanal (sábado o domingo) perteneciente al campeonato nacional de liga. Las características de los sujetos se presentan en la Tabla 2.

Edad (años)	Altura (cm)	Masa corporal (kg)	(%) Grasa	Experiencia (años)
22.83 ± 2.65	83.71 ± 4.11	76.91 ± 8.03	8.25 ± 2.33	6.58 ± 1.83

Tabla 2. Características iniciales de los sujetos (medias ± DE).

Control de Variables Extrañas

El protocolo en la ejecución de los ejercicios se controló debidamente en el momento de la realización de los tests, como se explica más adelante al describir los tests utilizados. Todos los sujetos realizaron los tests en las mismas condiciones y con

las mismas indicaciones, así que en este caso no existieron variables situacionales. El efecto del aprendizaje no existió o se eliminó, porque, según se indicará, los sujetos debían estar familiarizados con los ejercicios de sentadilla hasta el paralelo, el salto CMJ, el salto DJ y el salto CMJ con carga, aunque a pesar de ello, realizaron dos sesiones previas de familiarización.

Mediciones

Salto vertical CMJ y Máxima Producción de Potencia durante el Salto

El CMJ es un salto vertical en el que se pretende alcanzar la máxima elevación del centro de gravedad realizando una flexión-extensión rápida de piernas con la mínima parada entre ambas fases. La flexión debe llegar hasta un ángulo aproximado de 90°, aunque el grado de flexión no parece determinante si los saltos son “normales” o “naturales”. No existe la ayuda de brazos, por lo que las manos deben quedar fijas, pegadas a las caderas. El tronco debe estar próximo a la vertical, sin un adelantamiento excesivo. Las piernas deben permanecer rectas durante la fase de vuelo, tomando contacto con el suelo con las puntas de los pies, y las rodillas estiradas. Después de tomar contacto con el suelo se pueden flexionar las piernas hasta un ángulo aproximado de 90° en las rodillas. La posición inicial del sujeto es de pie con el cuerpo estirado y guardando la vertical (sin flexión de caderas o rodillas y sin inclinación hacia los lados o delante-atrás). La medición se hizo con una plataforma de contacto electrónica (Globus Tester, Codogno, Italia). Se realizaron cinco saltos, separados por un minuto de descanso aproximadamente. Se eliminaron los dos valores extremos (mejor y peor) y se hizo la media de los tres centrales. La altura del salto fue determinada utilizando el tiempo de vuelo como variable. Para el estudio de fiabilidad se consideraron todos los saltos. El salto vertical CMJ mostró buena estabilidad (fiabilidad), CCI del orden de 0.91 (0.90-0.93). La carga con la que se obtiene la máxima potencia durante el salto CMJ con carga fue examinada utilizando cargas relativas al peso corporal (-20 kg, del peso corporal, -10kg, -5kg, carga del peso corporal, +5 kg, y +10 kg del peso corporal). La medición de esta variable fue posible gracias a la utilización de una máquina Smith, en la cual la barra estaba atada a dos guías, con dos barras verticales que sólo permitían desplazamientos verticales, y utilizando una plataforma de contacto electrónica (Globus Tester, Codogno, Italia) para determinar el tiempo de vuelo durante el salto. La potencia mecánica media de cada salto CMJ con carga fue calculada con el tiempo de vuelo del salto (Bosco y col., 1983). La carga óptima con la que se obtuvo la máxima potencia durante el salto CMJ con carga fue utilizada como uno de los estímulos de activación para el rendimiento en el salto vertical. Fue permitido un adecuado descanso (2-3 min.) entre cada intento. En todas estas mediciones de rendimiento neuromuscular se utilizó una motivación verbal constante para que todos los sujetos realizaran los test a la máxima intensidad.

Altura Óptima del Salto DJ

La altura óptima de salto para la producción máxima de potencia durante el DJ fue evaluada desde tres alturas (20, 40 y 60 cm), utilizando una plataforma de contacto (Globus Tester, Codogno, Italia). La altura del salto y la potencia fue determinada utilizando el tiempo de vuelo y el tiempo de contacto (Bosco y col., 1983). Durante la ejecución del salto desde las tres alturas, el sujeto fue instado a dejar las manos sobre las caderas mientras realizaba el salto y a ejercer el máximo esfuerzo para lograr el máximo tiempo de vuelo con el menor contacto posible con el suelo. También, los sujetos fueron instados a caer en una posición correcta tras el salto, con las piernas y tobillos extendidos, para asegurar la validez del test. Se utilizó la mejor altura de salto obtenida, cuando el tiempo de contacto fue inferior a 250 milisegundos. Se realizaron 3 repeticiones desde cada altura con un minuto de descanso entre cada intento. El mejor de los intentos fue utilizado como uno de los estímulos de activación para el rendimiento en el salto vertical.

Fuerza Máxima y Potencia Muscular en Sentadilla Paralela

El test de sentadilla hasta el paralelo fue seleccionado para proporcionar datos de la fuerza máxima del sujeto a través de todo el rango de movimiento de los músculos implicados en la acción. La fuerza máxima de las extremidades inferiores fue evaluada utilizando una repetición concéntrica máxima (1 RM) en sentadilla paralela (1RM_{sp}). En la sentadilla paralela los hombros estaban en contacto con la barra y el ángulo de rodilla para comenzar la fase concéntrica fue de 85°. Bajo la orden del evaluador, el sujeto realizaba una extensión concéntrica de piernas (lo más rápido posible) comenzando desde una posición de flexión y terminando con una extensión total de las piernas (180°) con el peso determinado e incluido a cada lado de la barra. El tronco se mantuvo lo más vertical posible. Se utilizó un cinturón lumbar de seguridad en todos los casos. Todas las mediciones fueron realizadas en una máquina Smith con raíles y guías. El calentamiento consistió en una serie de diez repeticiones con cargas del 40%-60% del máximo estimado. A continuación se realizaban cinco o seis intentos hasta que el sujeto no era capaz de realizar una extensión completa de las piernas (Izquierdo y col., 2002). La última repetición con la máxima carga posible y con una ejecución técnica correcta fue determinada como 1 RM. El tiempo de descanso entre cada repetición fue de 2 min. La carga con la que se maximizaba la producción de potencia durante la fase concéntrica de la sentadilla hasta el paralelo fue evaluada utilizando cargas relativas del 50%, 75%, 100%, 125% y 150% del peso corporal. En este caso, los sujetos fueron instados a mover las cargas lo más rápidamente posible. Se realizaron dos repeticiones con cada carga y se utilizó la carga con la que obtenía la máxima potencia. El tiempo de descanso entre cada serie fue de 2 min. Durante las mediciones de fuerza, el desplazamiento de la barra, la potencia pico y la potencia

media (vatios) fueron medidas con un medidor lineal de velocidad (encóder) que se puso en un lado de la barra. Este encóder almacenó la información sobre la posición y dirección de la barra con una resolución de 0.003 m, Software (Rotational Globus Real Power, Codogno, Italia). La carga con la que se obtuvo la máxima producción de potencia fue utilizada como uno de los estímulos de activación para el rendimiento en el salto vertical (carga óptima en sentadilla hasta el paralelo).

Procedimiento

El estudio consistió en 4 semanas de mediciones. Durante este tiempo los sujetos fueron requeridos a realizar pruebas en el laboratorio en diez ocasiones en días separados. La hora para las pruebas se mantuvo similar durante todo el estudio, fijándose una hora prudencial para las 10:00 AM. Durante la primera semana los sujetos visitaron el laboratorio en tres días diferentes (lunes, miércoles y viernes) como parte del programa de mediciones. En la primera sesión de mediciones se evaluó la fuerza concéntrica máxima (1 RM) en sentadilla paralela. El siguiente test fue evaluar la carga con la que se realizaba la máxima potencia en sentadilla paralela, utilizando cargas relativas del 50%, 75%, 100%, 125% y 150% del peso corporal, respectivamente. Durante el segundo día de mediciones, se evaluó la carga con la que se obtenía la máxima potencia en el salto CMJ con carga, utilizando cargas relativas de -20kg del peso corporal, de -10kg, -5kg, carga con el peso corporal y +10kg del peso corporal, respectivamente. El tercer día, se evaluó el rendimiento en el salto CMJ y la altura con la que se obtuvo la máxima potencia en el salto en profundidad (DJ desde 20 cm, 40 cm y 60 cm). Los días de medición fueron separados con un mínimo de 48 horas para evitar los efectos de la fatiga entre las mediciones.

Los siete estímulos de activación fueron realizados durante la segunda, tercera y cuarta semana. El primer estímulo fue realizado el lunes a las 10.00 AM de la segunda semana. Antes de evaluar los efectos de cada estímulo sobre el rendimiento en el salto vertical, los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado que consistía en lo siguiente: 10min de carrera continua a $9 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ seguido de un leve estiramiento, dos series de 10 repeticiones con el 50% del peso corporal en media sentadilla, y unos intentos de familiarización en el ejercicio que sería posteriormente evaluado a una intensidad submáxima. A continuación del calentamiento, el sujeto se sentaba durante 15 minutos para evitar posibles efectos neurales residuales del calentamiento sobre el primer estímulo. Después de este tiempo, el sujeto realizaba la medición inicial de los test bajo la condición experimental de no activación (pre-activación) como sigue a continuación: CMJ, CMJ con carga (con el porcentaje del peso corporal con el que conseguía la máxima potencia) y el salto DJ desde la altura que conseguía la máxima potencia. El período de descanso entre cada salto fue de 60 seg. Tras los test iniciales, el sujeto realizaba uno de los siete estímulos de activación programados. Después de terminar el estímulo, las variables medidas en el test inicial fueron repetidas con el mismo orden a los 5 min (5 min post-test) y a las 6 horas (6 horas post-test). El mismo protocolo fue utilizado para cada uno de los estímulos durante la segunda, tercera y cuarta semana. Todos los sujetos realizaron el mismo tratamiento durante el periodo experimental. Todas las mediciones fueron programadas para las 10.00 AM y las 16.00 PM. Se tuvo en consideración un periodo de descanso de 72 h entre cada estímulo. Los sujetos fueron informados para que evitaran cualquier actividad física extenuante durante la total realización del estudio. El peso corporal y el porcentaje graso fueron estimados con la medición de 7 pliegues cutáneos según la fórmula de Jackson y Pollock (1978) y se realizó durante la primera la medición. Los sujetos fueron cuidadosamente familiarizados con los protocolos de medición.

Tratamiento

Los estímulos incluían movimientos con cargas altas y bajas a diferentes porcentajes de 1 RM (30%, 80-85% y 80-95% del $1RM_{sp}$). Adicionalmente, fueron evaluados los efectos de un entrenamiento específico de voleibol previo a un partido de competición sobre el rendimiento del salto vertical. Como sesión de control, los sujetos realizaron los test iniciales, se sentaban o andaban levemente y volvían a realizar los test a los 5 min. y a las 6 horas sin haber realizado ninguna activación previa. Previo a la ejecución de los estímulos, los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado con 5 min de trote suave a $9 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, unos estiramientos suaves y dos series de 5 repeticiones con una carga del 50% de peso corporal, con 2 min de recuperación entre series.

El orden de los estímulos fue el siguiente: el primer estímulo fue la ejecución de 3 series de 5 saltos con la carga con la que se obtuvo la máxima potencia en el salto CMJ con carga. El segundo estímulo fue la ejecución de 2 series de 4 repeticiones al 80% de $1RM_{sp}$ y 2 series de 3 repeticiones al 85% de $1RM_{sp}$. El tercer estímulo fue la ejecución de 2 series de 4 repeticiones al 80% de $1RM_{sp}$, 2 series de 2 repeticiones al 90% de $1RM_{sp}$ y 2 series de 1 repetición al 95% de $1RM_{sp}$. El cuarto estímulo consistió en realizar 3 series de 5 saltos DJ desde la altura óptima de cada sujeto. El quinto estímulo fue realizar un calentamiento específico de voleibol previo a un partido de liga, consistiendo en (5 min de carrera a $9 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, 2 min. de varios desplazamientos (hacia atrás, hacia delante, lateral), 4 ejercicios pliométricos diferentes (5 saltos con pies juntos y rodillas al pecho, 5 saltos de pies juntos en profundidad, 5 saltos rana y 5 saltos a bloquear con dos manos en la red), seguido de estiramientos suaves de 5 min. El sexto estímulo fue ejecutar 3 series de 5 repeticiones al 30% de $1RM_{sp}$. El séptimo y último estímulo fue para control (sin carga), donde los sujetos se quedaban sentados o caminando suavemente. Antes de realizar la segunda medición (a las 6 horas de realizar el estímulo), los sujetos realizaron el mismo

calentamiento estandarizado que en el test inicial. El tiempo de descanso entre las series de los estímulos fue de 1 min. Las repeticiones fueron ejecutadas seguidas sin descansos intermedios. La Tabla 1 contiene una representación esquemática de la metodología.

Análisis Estadísticos

Para la descripción de los resultados se utilizaron los cálculos clásicos de tendencia central: medias, de variabilidad: desviaciones típicas, el número de casos, los valores máximos y mínimos y los porcentajes de cada grupo de valores según los casos. Se analizó la fiabilidad de las medidas aplicando el coeficiente de correlación intraclase (CCI). Para analizar las diferencias entre grupos se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas con el contraste F de Snedecor. En el caso de obtener diferencias significativas, se realizaron los análisis post hoc aplicando el contraste de Scheffé para determinar entre qué pares de grupos se dieron las diferencias. Todos los datos fueron analizados con el programa estadístico SPSS (versión 13.0 SPSS Inc. Chicago, IL. USA) En todos los casos en que se estableció una relación entre variables o se contrastaron las diferencias entre medias se consideraron significativas si la probabilidad de error era igual o menor que el 5% ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS

Los valores iniciales de fuerza y potencia muscular (la carga óptima con la que se obtuvo la mayor producción de potencia en sentadilla hasta el paralelo y en el salto CMJ y la altura desde donde se obtuvo la mayor producción de potencia en el salto en profundidad (DJ), fueron analizados para determinar las cargas que se utilizaron en los estímulos. El valor medio para 1RM en sentadilla fue de 158.3 ± 24.8 kg. La media de producción de potencia muscular y la correspondiente carga óptima con la que obtuvo la mayor potencia durante la sentadilla paralela fue de 1290 ± 164.1 vatios, y de un $36.52 \% \pm 3.2$ de 1RM, respectivamente. La media de producción de potencia muscular y la carga óptima con la que se obtuvo la mayor producción de potencia en el salto CMJ fue de 2381.13 ± 331.3 vatios y -4.58 ± 2.3 kg del peso corporal, respectivamente. La altura media óptima desde donde se obtuvo la mayor producción de potencia en el salto DJ fue de 43.33 ± 14.3 cm. Estos resultados se presentan en la Tabla 3.

Sujetos	1RM Sentadilla (kg)	Potencia Máxima en Sentadilla (vatios)	Potencia Máxima en salto CMJ _c (vatios)	Altura óptima en el salto DJ (cm)
1	160	1215 (37.9% 1RM)	2148.187 (CMJ-10kgPC)	60
2	170	1585 (36.6% 1RM)	3042.47 (CMJ+5kgPC)	40
3	180	1597 (31.6% 1RM)	2563.817 (CMJ-10kgPC)	20
4	130	1292 (36.3% 1RM)	1864.431 (CMJ-5kgPC)	40
5	160	1137 (37.5% 1RM)	2374.612 (CMJ-10kgPC)	40
6	120	1267 (40% 1RM)	1917.677 (CMJ-5kgPC)	60
7	150	1345 (39.5% 1RM)	2304.547 (CMJ-20kgPC)	40
8	140	1125 (41.7% 1RM)	2446.367 (CMJ-10kgPC)	60
9	180	1275 (33.33% 1RM)	2635.584 (CMJ-PC)	40
10	130	1352 (38.07% 1RM)	2144.157 (CMJ+10kgPC)	60
11	180	1213 (32.5% 1RM)	2596.217 (CMJ+5kgPC)	20
12	200	1077 (33.3% 1RM)	2535.561 (CMJ-5kgPC)	40

Tabla 3. Resultados individuales de los mediciones iniciales. PC: Peso corporal; 1 RM: Una repetición máxima; CMJ_c: Salto con contramovimiento con carga.

Efectos Agudos de los Diferentes Tipos de Estímulos de Activación

En las mediciones iniciales no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes estímulos de activación en ninguna de las variables de salto (CMJ, CMJ_c y DJ). La altura del salto CMJ fue mejorada significativamente ($p < 0.05$) después de la ejecución de los estímulos: Estimulo (EST) 1 (4.1%; 1.90 cm; $p = 0.06$) EST 2 (5.01%; 2.14 cm), EST 3 (4.59%;

2.02 cm) y EST 5 (6.96%; 3.08 cm), aunque estos cambios no se mantuvieron después de 6 horas (post-6 horas) (Figura 1).

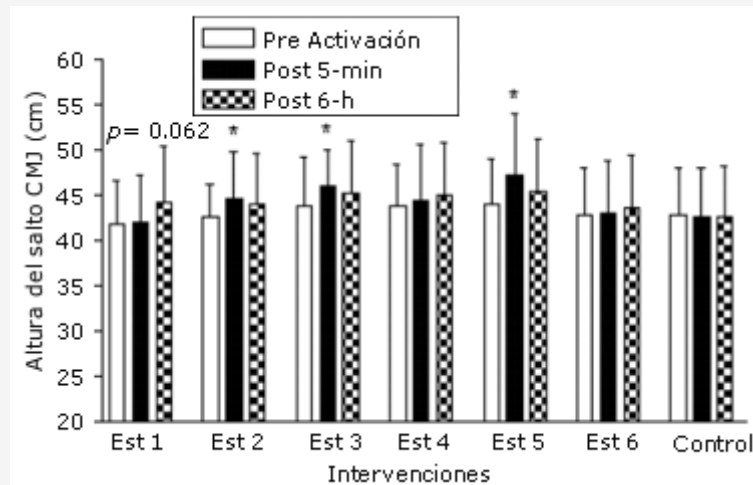


Figura 1. Altura máxima en el rendimiento del salto CMJ (cm) durante los 7 estímulos realizados. Los datos se representan como (Media \pm DE). * $p < 0.05$ = diferencias significativas entre la pre-activación y el post 5-min.

La altura del salto DJ fue incrementada significativamente ($p < 0.05$) después de la ejecución de los estímulos: EST 1 (4.18%; 1.56 cm), EST 2 (2.98%; 1.18 cm), EST 3 (5.47%; 2.19 cm) y EST 5 (4.49%; 1.84 cm). Además, después de 6-horas de realizar el protocolo de activación, el incremento logrado en la altura del DJ fue mantenido o ligeramente mejorado en los estímulos EST 1, EST 2 y EST 3 (Figura 2).

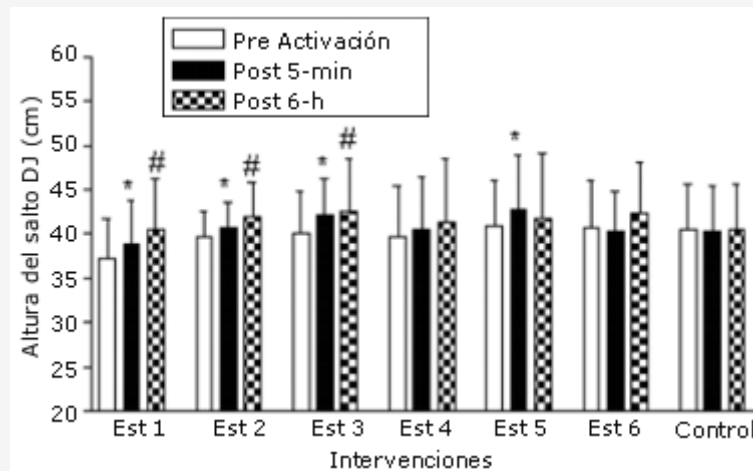


Figura 2. Altura máxima en el rendimiento del salto DJ (cm) desde la altura óptima de salto durante los 7 estímulos realizados. Los datos se representan como (Media \pm DE). * $p < 0.05$ =diferencias significativas entre la pre-activación y el post 5-min. # $p < 0.05$ =diferencias significativas entre la pre-activación y el post 6-horas.

Finalmente, la producción de potencia máxima durante el salto CMJ_c fue mejorada ($p < 0.05$) en cuatro de los estímulos de activación (11.39%, 1.58 cm; 10.90%, 1.53 cm; 9%, 1.26 cm y 2.47%, 0.34 cm en EST 2, EST 5, EST 3, y EST 1 respectivamente). Sin embargo, solo se mantuvo una mejora significativa después de 6-horas en el EST 1 (Figura 3).

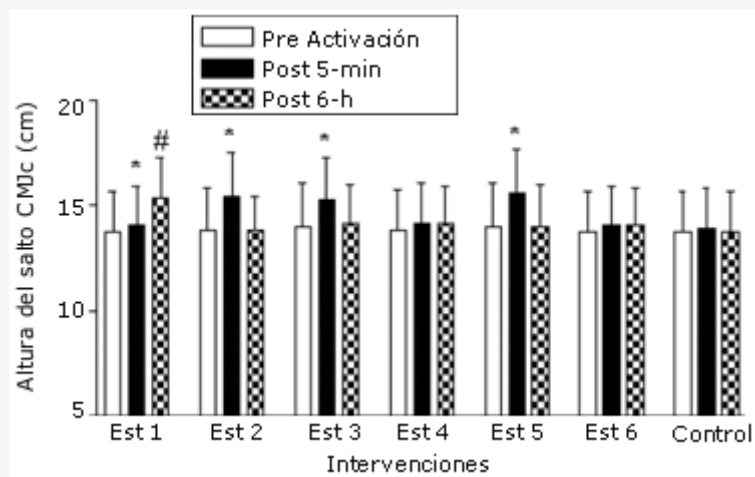


Figura 3. Altura máxima en el rendimiento del salto CMJ_c (cm) durante los 7 estímulos realizados. Los datos se representan como (Media±DE). * $p < 0.05$ = diferencias significativas entre la pre-activación y el post 5-min. # $p < 0.05$ = diferencias significativas entre la pre-activación y el post 6-horas.

DISCUSION

El enfoque innovador de este estudio fue examinar el efecto de diferentes grados de intensidad de la carga en varios tipos de activaciones/calentamientos (desde un calentamiento estandarizado, hasta diferentes acciones concéntricas con cargas entre el 30% y el 95% del RM o acciones explosivas con saltos pliométricos) sobre la máxima capacidad del salto en jugadores de voleibol. El hallazgo más importante de esta investigación indicó que el mayor efecto positivo agudo sobre el rendimiento en el salto vertical (altura en el salto CMJ con y sin carga y en el DJ) se alcanzó después de un protocolo de activación que incluía un trabajo de fuerza concéntrica a altas intensidades (80%-95% de 1RM) así como también un protocolo de calentamiento específico para jugar los partidos de voleibol (que incluía varios desplazamientos y cuatro tipos de ejercicios pliométricos). Esta mejora del rendimiento muscular después de este tipo de activaciones mostró la relación dependiente que existe con la intensidad, ya que los protocolos de activación que utilizaron las intensidades más altas lograron los efectos más positivos en los subsiguientes tests de rendimiento en el salto vertical. También fue interesante observar que los efectos positivos agudos sobre el rendimiento del salto vertical después de una activación que incluía diferentes acciones de salto y cargas concéntricas se mantuvieron después de un largo periodo de descanso (6 horas después de la activación), particularmente cuando se realizaron acciones dinámicas previas con alta intensidad.

Se observaron efectos positivos agudos en la capacidad del salto vertical después de realizar protocolos de activación que incluían levantamientos con cargas pesadas (80%-95% de 1RM), mientras que el rendimiento no se modificó después de utilizar protocolos de activación que incluían cargas de menor intensidad (30% de 1RM) o el calentamiento habitual antes de realizar un ejercicio de pesas (control). Así mismo, fue destacable la evidencia de que un protocolo de activación específico de saltos con alta intensidad también tuvo una influencia significativa sobre el rendimiento neuromuscular del salto. Estos hallazgos están en línea con los resultados de previos estudios (Gulich y Smichtbleicher 1996; Young y col., 1998; Gorgoulis y col., 2003; Radcliffe y Radcliffe 1996), los cuales observaron mejoras en el rendimiento del salto vertical (salto CMJ, salto DJ y salto horizontal) después de seguir un tratamiento que incluía ejercicios con cargas altas (contracciones voluntarias máximas, media sentadilla con el 5RM o con protocolos de fuerza con cargas desde el 20% hasta el 90% de 1RM). Conceptualmente, estos resultados podrían indicar que el factor determinante del aumento del rendimiento muscular al ejecutar un salto fue, dentro de los márgenes aplicados en este estudio, la intensidad a la que se realizaron los protocolos de activación, ya que los ejercicios que incluyeron cargas altas (> 80% de 1RM) y con una ejecución explosiva produjeron un mayor efecto positivo sobre la capacidad de salto que las cargas bajas (30% de 1RM o el calentamiento habitual antes de realizar un ejercicio de pesas).

En gran parte de los estudios los tipos de activación que se han utilizado son las contracciones dinámicas o isométricas máximas, y por ello existe una escasez de datos que determinen la efectividad del calentamiento tradicional o sin cargas en comparación con diferentes estímulos específicos sobre el rendimiento del salto vertical como la carga con la que se obtiene la mayor potencia durante el salto o en la sentadilla hasta el paralelo, la altura óptima de salto para el DJ o los niveles de intensidad con cargas concéntricas bajas (30% de 1RM) o altas (80%-95% de 1RM), los cuales son similares a los

ejercicios dinámicos explosivos habituales utilizados en los programas de acondicionamiento físico relacionados con la mejora de la fuerza (sentadilla o saltos con diferentes cargas).

Recientes estudios proporcionan evidencias acerca de que los protocolos de calentamiento que incluyen contracciones voluntarias isométricas máximas (Gulich y Smichtbleicher 1996; Vandervoort y col., 1983; French y col., 2003) e intensidades dinámicas muy altas o máximas (de 1 a 5 repeticiones máximas en sentadillas/arrancadas) (Radcliffe y Radcliffe 1996; Young y col., 1998; Gorgoulis y col., 2003; Abbate y col., 2000) pueden hacer mejorar la fuerza explosiva y, por tanto, la aceleración lograda con cargas entre “cero” (condición sin carga) y la fuerza isométrica máxima (Abbate y col., 2000; Vandenboom y col., 1993; Sale 2002). Por tanto, un protocolo de activación que incluya ejercicios con cargas submáximas y acciones explosivas podría ser beneficioso para la mejora del rendimiento del salto vertical. Sin embargo, un hallazgo determinante en este estudio fue que sólo la utilización de cargas pesadas (80%-95% de 1RM) o un calentamiento específico con altas demandas en el salto proporcionaron una mejora aguda significativa ($p < 0.05$) de la capacidad de salto vertical con carga CMJ_c (EST2 (2.98%, 1.18 cm), EST3 (5.47%, 2.19 cm) y EST5 (4.49%, 1.84 cm) o sin carga CMJ (EST2 (5.01%, 2.14 cm), EST3 (4.59%, 2.02 cm) y EST5 (6.96%, 3.08 cm) . Esto sugiere que, probablemente, para inducir una mejora inmediata, aunque transitoria, en el rendimiento en el salto vertical se debería aplicar una preactivación o calentamiento con acciones dinámicas con cargas altas (>80% de 1RM) o un calentamiento específico con saltos.

Debido a que no se midieron respuestas bioquímicas o neuromusculares en este estudio, la determinación de mecanismos fisiológicos responsables de las diferentes adaptaciones al entrenamiento que ocurren después de realizar diferentes protocolos de activación que incluye cargas submáximas y acciones explosivas está fuera de nuestro alcance. Cambios morfológicos en el músculo esquelético son improbables en tan poco tiempo (Schmidtbleicher 1987a), pero un protocolo de activación que incluya altas cargas puede provocar una alta frecuencia de estimulación de las motoneuronas, lo cual tiene como resultado el aumento de la posibilidad de alcanzar un mayor reclutamiento de unidades motoras y una tasa superior de frecuencia de estímulo (existe un mayor número de descargas en las fibras musculares en un menor espacio de tiempo) durante varios minutos después de la activación (French y col., 2003). El resultado de este incremento en la excitabilidad de las motoneuronas puede ser observada en la mejora considerable de la fuerza explosiva y por tanto en la producción de potencia (Schmidtbleicher 1992; Abbate y col., 2000; Vandenboom y col., 1993; Sale 2002). También, se puede especular que los mecanismos subyacentes responsables de las mejora a corto (2-5 min.) y a largo plazo (después de 5-20 min.) en el rendimiento del salto podrían incluir una optimización de la condición contráctil del músculo, incrementando así la frecuencia de estimulación de las motoneuronas y alterando la relación fuerza-velocidad y la degradación de fosfato de alta energía, probablemente en parte relacionado con un incremento en la temperatura muscular (Binkhorst y col., 1977, Ranatunga y col., 1987, Febbrario y col., 1996, Bishop 2003). Cuando los periodos de recuperación utilizados fueron mayores (6 horas), se encontró que la activación realizada en nuestro estudio con intensidades altas mantenía su efecto sobre la capacidad de salto, lo que probablemente esté relacionado con el aumento de la activación neural y la optimización de la condición contráctil de los músculos ejercitados y una mejora de la relación fuerza-velocidad (Bishop 2003).

La evidencia de una mejora de la capacidad de salto después de 6 horas sugiere que la prolongación en el tiempo de la excitación neural lograda después de la activación que incluía altas cargas es mayor en las fibras musculares de tipo II (rápidas) (Hamada y col., 2000a; Hamada y col., 2000b; Sale 2002). Esto puede ser explicado por el hecho de que las fibras de contracción rápida experimentan una mayor fosforilación de las cadenas ligeras de miosina como respuesta a la actividad desarrollada (Sweeney y col., 1993). Por tanto, una activación que incluya cargas altas y ejercicios explosivos es más beneficiosa para atletas que participan en actividades deportivas donde se requieran esfuerzos breves repentinos de la musculatura (lanzamientos, saltos, golpes), los cuales dependen principalmente de las fibras rápidas. Asumiendo que un alto porcentaje de fibras musculares de tipo II son activadas durante los saltos en la población de jugadores de voleibol, se podría esperar un mayor potencial en los efectos positivos agudos sobre el rendimiento del salto siguiendo una activación con altas cargas en este tipo de sujetos. Sin embargo, el uso previo de bajas intensidades de contracción dinámica (acciones concéntricas con el 30% de 1RM) y series de saltos DJ desde la altura óptima de salto donde se obtiene la mayor producción de potencia no parecen estímulos adecuados para lograr una mejora aguda en la capacidad del salto. Existen varios argumentos para explicar por qué no se encontraron efectos después de utilizar este tipo de tratamientos. Una de las razones principales puede estar relacionada con la alta fatiga neuromuscular que ocasiona el salto DJ, junto con un periodo de descanso muy corto (5 min.) entre el final de los ejercicios pliométricos y el comienzo del rendimiento. La falta de mejoras del rendimiento en el salto con los protocolos de activación que incluían acciones musculares dinámicas de baja intensidad en la población de jugadores de voleibol pudo deberse principalmente al hecho de que la frecuencia de estimulación de las unidades motoras incluidas en movimientos explosivos realizados con cargas de baja intensidad (30% de 1RM) en un espacio corto de tiempo (3 series de 5 repeticiones) no fue el adecuado para la frecuencia de estimulación de las motoneuronas, y por tanto, no fue suficiente para mejorar la fuerza explosiva (Abbate y col., 2000; Sale 2002) y el rendimiento en el salto.

Además de la influencia de la intensidad y la duración en el protocolo de activación, el beneficio de una buena técnica de activación para la mejora del rendimiento está también relacionada con los periodos de recuperación entre el final de la

activación y el comienzo de las mediciones del rendimiento (Bishop 2003; Sale 2002). Algunos estudios recientes (Radcliffe y Radcliffe 1996; Young y col., 1998, Bishop 2003) han determinado que un periodo de descanso mayor de 5 min, pero inferior a 15-20 min puede ser óptimo para proporcionar el mayor efecto positivo agudo sobre el rendimiento. Contrariamente, un hallazgo importante del presente estudio fue que el efecto positivo agudo sobre el rendimiento del salto, se mantuvo después de un largo periodo de descanso (6 horas después de la activación) tras efectuar diferentes activaciones concéntricas con cargas altas y acciones que incluían varios saltos. Este hallazgo puede tener una relevancia práctica importante, ya que se argumenta que el mantenimiento de efectos positivos agudos sobre el rendimiento en el salto después de varios de estos protocolos de activación, y esencialmente aquellos que incluían altas intensidades y ejecución explosiva, podrían no solamente permanecer durante 10-15 minutos después del estímulo sino también varias horas después. Finalmente, las técnicas de activación pueden ser útiles para controlar y optimizar las sesiones de entrenamiento diario, ya que se puede realizar una sesión de trabajo con cargas altas por la mañana y una serie de ejercicios donde se enfatice la velocidad o potencia por la tarde. También se puede remarcar que la información que obtengamos del rendimiento obtenido con la utilización de este tipo de calentamientos puede ser utilizada para optimizar la efectividad del protocolo que realicemos por la mañana y que nos sirva para jugar un partido oficial varias horas más tarde (6 horas después de la activación).

Conclusiones

El uso de protocolos de activación/calentamiento que incluyen acciones dinámicas con cargas altas y a gran intensidad (entre 80%-95% de 1RM), así como protocolos de calentamiento específicos de voleibol proporcionan mayores efectos positivos agudos sobre el rendimiento explosivo en el salto (altura del alto CMJ con y sin carga, y en el salto DJ) que protocolos de activación que incluyen acciones dinámicas con cargas de menor intensidad (30% de 1RM), series de saltos DJ o el calentamiento estandarizado habitual.

Los efectos positivos agudos sobre el rendimiento en el salto vertical después de realizar protocolos de activación con acciones concéntricas con carga, así como acciones con saltos específicos son mantenidos después de largos períodos de descanso (6 horas después de la activación), especialmente cuando esta activación se realiza con cargas altas y de alta intensidad.

REFERENCIAS

1. Binkhorst RA, Hoofd L, Vissers ACA (1977). Temperature and force-velocity relationship of human muscles. *J Appl Physiol* 42(4): 471-475
2. Bishop D (2003). Warm-up II. Performance changes following active warm-up and how to structure warm-up. *Sports Med* 33 (7): 483-498
3. Bosco C, Luthanen P, Komi PV (1983). A simple method for measurement of mechanical power of jumping. *Eur J Appl Physiol* 50:273-282
4. Febbrario MA, Carey MF, Snow RJ, Stathis CG, Hargreaves M (1996). Influence of elevated muscle temperature on metabolism during intense, dynamic exercise. *Am J Physiol* 271(40): R1251-1255
5. French DN, Kraemer WJ, Cooke CB (2003). Changes in dynamic exercise performance following a sequence of preconditioning isometric muscle actions. *J. Strength Cond Res* 17(4):678-685
6. Goodwin JE (2002). A comparison of massage and sub-maximal exercise as warm-up protocols combined with a stretch for vertical jump performance. *J Sports Sci* 20 (1):48-49
7. Gourgoulis V, Aggeloussis N, Kasimatis P, Mavromatis G, Garas A (2003). Effect of submaximal half-squat warm-up program on vertical jumping ability. *J Strength Cond Res* 17(2):342-344
8. Gossen ER, Sale DG (2000). Effect of postactivation potentiation on dynamic knee extension performance. *Eur J Appl Physiol* 83:524-30
9. Gullich A, Schmidtbleicher D (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *N Stud Athlet* 11:67-81
10. Jackson, AS, Pollock ML (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr.* 40:497-504
11. Jones P, Lees A (2003). A biomechanical analysis of the acute effects of complex training using lower limb exercises. *J Strength Cond Res* 17(4): 694-700
12. Radcliffe JC, Radcliffe L (1996). Effects of different warm-up protocols on peak power output during a single response jump task. [Abstract]. *Med Sci Sports Exerc* 28(5):189
13. Ranatunga KW, Sharpe B, Turnbull (1987). Contractions of human skeletal muscle at different temperatures. *J Physiol* 390:383-395
14. Sale DG (2002). Postactivation potentiation: Role in human performance. *Exerc Sport Rev* 30: 138-143
15. Schmidtbleicher D (1987). Applying the theory of strength development. *Track Field Q Rev* 87(3):34-44
16. Schmidtbleicher D (1991). Training for power events. In: *Strength and Power in Sport. V. Komi, eds. Oxford: Blackwell Scientific Publications* 381-395

17. Vandenberg R, Grange RW, Houston ME (1993). Threshold for force potentiation associated with skeletal myosin phosphorylation. *Am J Physiol* 265:C1456-C1462
18. Young WB (1993). Training for speed/strength: Heavy versus light loads. *Nat Strength Cond J* 15(5): 34-42
19. Young WB, Jenner A, Griffiths K (1998). Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *J Strength Cond Res* 12:82-84

Cita Original

Saez Saez de Villarreal E, Gonzalez-Badillo JJ, Izquierdo M. Optimal warm-up stimuli of muscle activation to enhance short and long-term acute jumping performance. *Eur J Appl Physiol*, Jul; 100 (4):393-401, 2007