

Article

Efectos del Entrenamiento de Fuerza de Corto Plazo y el Tapering en Fuerza Máxima, Potencia Máxima, Velocidad de Lanzamiento del Balón y Rendimiento del Sprint en Jugadores de Balonmano

Effects of Short-Term Resistance Training and Tapering on Maximal Strength, Peak Power, Throwing Ball Velocity, and Sprint Performance in Handball Players

Souhail Hermassi, Aloui Ghaith, René Schwesig, Roy J. Shephard y Mohamed Souhaïel Chelly

RESUMEN

El propósito de este estudio fue evaluar el efecto del entrenamiento de fuerza de corto plazo y de dos semanas de tapering en el rendimiento físico de los jugadores de balonmano. Después de un programa de entrenamiento de fuerza progresiva de diez semanas, los sujetos fueron divididos entre un grupo experimental ($n = 10$) y un grupo de control ($n = 10$). El grupo experimental completó un programa de entrenamiento de fuerza, seguido de un período de dos semanas en el que la intensidad del entrenamiento disminuyó en un 60% (tapering), mientras que el grupo de control mantuvo su patrón típico de entrenamiento. La fuerza muscular (prueba de fuerza-velocidad y prueba de sentadilla y counter-movement jump), la capacidad de sprint (10m y 30m), la capacidad de cambio de dirección (prueba T-half) y la velocidad de lanzamiento (un lanzamiento con carrera y un lanzamiento de salto) se evaluaron antes del entrenamiento, al final del entrenamiento y después del tapering. El grupo experimental mostró efectos de interacción significativamente mayores para el período de entrenamiento de 10 semanas (12/15, 80%), que para las 2 semanas siguientes de tapering (10/15, 67%), siendo las mayores ganancias en los tiempos de sprint de 15 m ($d = 3,78$) y la fuerza muscular máxima en el snatch ($d = 3,48$). Aunque el rendimiento del grupo experimental continuó aumentando en general con el tapering, el tamaño del efecto medio del período de entrenamiento fue notablemente mayor ($d = 1,92$; rango: 0,95-3,78) que el observado durante el tapering ($d = 1,02$; rango: -0,17-2,09). Sin embargo, las diez semanas de entrenamiento de fuerza progresiva seguidas de dos semanas de tapering fueron una táctica general eficaz para aumentar la potencia muscular, el rendimiento de sprint y la velocidad de lanzamiento del balón en los jugadores de balonmano.

Palabras Clave: afinamiento, fuerza máxima, potencia máxima, velocidad del balón, esprint, balonmano

ABSTRACT

The purpose of this study was to assess the effect of short-term resistance training and two weeks of tapering on physical performances in handball players. Following a ten-week progressive resistance training program, subjects were divided between an experimental ($n = 10$) and a control group ($n = 10$). The experimental group completed a resistance training program, followed by a two-week period when the training intensity was tapered by 60%, while the control group maintained their typical pattern of training. Muscle power (force-velocity test and squat and counter-movement jump tests), sprinting ability (10m and 30m), ability to change direction (T-half test) and throwing velocity (a 3-step throw with a run, and a jump throw) were evaluated before training, at the end of training and after tapering. The experimental group showed significantly larger interaction effects for the 10-week training period (12/15, 80%), than for the following 2 weeks of tapering (10/15, 67%), with the largest gains being in 15 m sprint times ($d = 3.78$) and maximal muscular strength in the snatch ($d = 3.48$). Although the performance of the experimental group generally continued to increase over tapering, the mean effect size for the training period was markedly higher ($d = 1.92$, range: 0.95-3.78) than that seen during tapering ($d = 1.02$, range: -0.17-2.09). Nevertheless the ten weeks of progressive resistance training followed by two weeks of tapering was an effective overall tactic to increase muscle power, sprint performance and ball throwing velocity in handball players.

Keywords: tapering, maximal strength, peak power, ball velocity, sprint handball

INTRODUCCIÓN

El concepto de tapering del entrenamiento fue introducido por primera vez por Costill et al. [1] para el acondicionamiento óptimo de los nadadores de competición. La eficacia del tapering ha sido posteriormente bien documentada en estudios de corredores [2], nadadores [3], ciclistas [4], remadores [5] y triatletas [6], con mejoras demostradas en el rendimiento físico o sus correlativos fisiológicos [7-10]. Desde una perspectiva neuromuscular, el tapering suele aumentar la fuerza y la potencia muscular, a menudo con aumentos asociados en el rendimiento a nivel muscular y de todo el cuerpo. La actividad de las enzimas oxidativas también puede aumentar, junto con cambios positivos en el tamaño de las fibras musculares individuales, las propiedades metabólicas y las propiedades contráctiles [11,12].

El objetivo del tapering es reducir el estrés fisiológico y psicológico adverso impuesto por el entrenamiento diario intenso y, de este modo, optimizar el rendimiento competitivo. El tapering puede llevarse a cabo de muchas maneras, incluyendo tanto reducciones progresivas como escalonadas en el volumen, intensidad y frecuencia del entrenamiento [2]. La duración del período de tapering también ha variado ampliamente [7-10,13]. Varios estudios han demostrado que un período de tapering de 2 semanas [14-16] proporciona mejoras significativas en el rendimiento, mientras que otros han informado mejoras en períodos relativamente cortos (<7 días) [4] y mucho más largos (>28 días) [9]. Algunos estudios han reducido el volumen de entrenamiento hasta en un 85% [17], mientras que otros han mostrado mejoras similares en el rendimiento después de sólo un 31% de disminución del entrenamiento [14].

Ningún estudio previo ha investigado los efectos de un período de dos semanas de tapering en las características del rendimiento físico de los jugadores de balonmano que se someten a un entrenamiento de fuerza. El objetivo de este estudio fue, por lo tanto, analizar los efectos de un tapering de dos semanas en la potencia muscular de las extremidades superiores e inferiores, la velocidad de lanzamiento del balón, el rendimiento de salto y la capacidad de sprint en jugadores de balonmano masculinos de élite. Se formuló la hipótesis de que los jugadores que completaron dos semanas de tapering mostrarían aumentos en el rendimiento en relación con los que se observaron al final del período de entrenamiento inicial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes

Todos los procedimientos fueron aprobados por el Comité de Revisión Institucional [Unidad de Investigación Desempeño Deportivo, Salud y Sociedad]: Universidad de La Manouba para el uso ético de los sujetos humanos, de acuerdo con las leyes y reglamentos nacionales e internacionales vigentes. Los participantes dieron su consentimiento informado por

escrito después de recibir una explicación verbal y escrita del diseño experimental y sus riesgos potenciales. Los sujetos fueron libres de retirarse del estudio en cualquier momento, sin penalización. Antes de la participación, se completó un cuestionario que cubre historia clínica, edad, estatura, masa corporal, características de entrenamiento, historial de lesiones, experiencia en balonmano y nivel de rendimiento competitivo. Un examen inicial por parte del médico del equipo se centró en las condiciones ortopédicas y otras que podrían impedir el entrenamiento de fuerza; sin embargo, se encontró que todos los participantes gozaban de buena salud.

Todos los participantes fueron elegidos de la Primera Liga Nacional, con las siguientes posiciones de juego: (pivotes, $n = 3$; armadores, $n = 4$; extremos, $n = 4$; CG: pivotes, $n = 1$; armadores, $n = 4$; extremos, $n = 4$). Se incluyeron todas las posiciones de juego, ya que cada actividad tiene una característica especial, basada en la posición de juego del individuo. Cinco jugadores eran zurdos. Los participantes fueron divididos aleatoriamente entre grupo experimental y de control. Los dos grupos fueron inicialmente bien emparejados en términos de características físicas (grupo experimental: edad: $20,9 \pm 0,7$ años, masa corporal: $85,2 \pm 8,8$ kg, altura: $1,84 \pm 0,03$ m, grasa corporal: $13,7 \pm 0,8\%$; grupo de control: edad: $20,6 \pm 0,5$ años, masa corporal: $85,6 \pm 9,4$ kg, altura: $1,82 \pm 0,04$ m, grasa corporal: $13,7 \pm 0,6\%$).

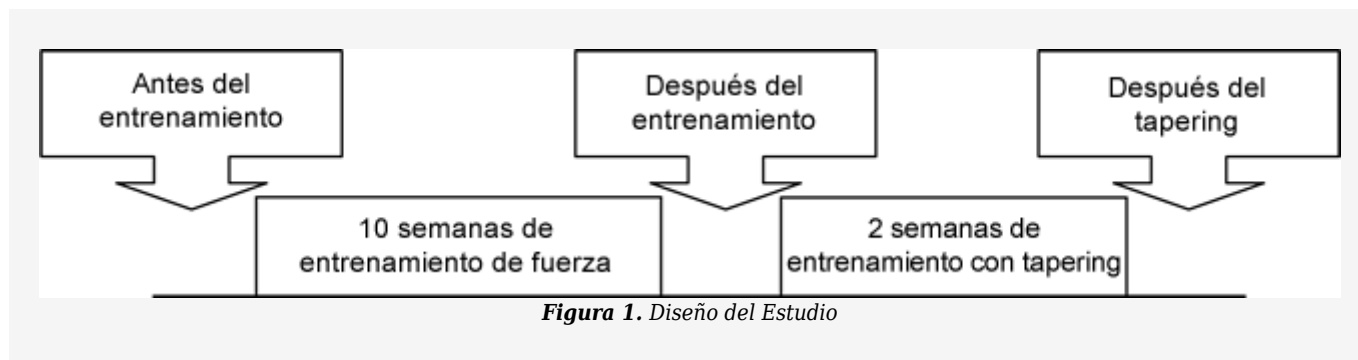
Diseño Experimental

Este estudio utilizó un diseño pre-test post-test. Veinte jugadores masculinos de balonmano se ofrecieron para ser asignados al azar a un grupo de entrenamiento de levantamiento de pesas + tapering (grupo experimental) ($n = 10$) o a un grupo de control que continuó siguiendo el régimen estándar de la temporada ($n = 10$). Ambos grupos habían estado entrenando durante 5 meses, y ya habían pasado 4 meses de la temporada competitiva antes de que el grupo experimental comenzara el programa de entrenamiento modificado. Todos los participantes habían completado dos ensayos de familiarización en las dos semanas anteriores a la prueba definitiva, que se llevó a cabo antes del entrenamiento (T0), y después de 10 semanas de levantamiento de pesas adicional (T1) y 2 semanas de tapering en el grupo experimental solamente (T2).

Las evaluaciones incluyeron tiempos de sprint de 5m, 15m y 30m, velocidad de lanzamiento, saltos verticales, y fuerza y potencia de las extremidades superiores e inferiores. Las sesiones de prueba se realizaron a la misma hora del día y en las mismas condiciones experimentales, al menos 3 días después de la última competición. Los jugadores mantuvieron su ingesta normal de alimentos y líquidos, pero se abstuvieron de hacer ejercicio físico durante 1 día antes de la prueba, no tomaron bebidas que contuvieran cafeína durante 4 horas antes de la prueba, y no comieron nada durante 2 horas antes de la prueba. El fuerte estímulo verbal aseguró el máximo esfuerzo a lo largo de las sesiones de medición y de entrenamiento de fuerza.

Procedimientos

El entrenamiento de fuerza fue introducido al grupo experimental durante un período de 10 semanas (de enero a abril) desde la semana 22 hasta la 29 de la temporada de juego, inmediatamente después de las tradicionales vacaciones de invierno de 8 días. Tanto el grupo experimental como el grupo de control ya estaban acostumbrados a un entrenamiento de fuerza moderado (1 sesión semanal de ejercicios de press de banca y media sentadilla con una carga del 60-80% de 1-RM). Todos habían participado en el programa de entrenamiento de balonmano estándar desde el comienzo de la temporada de competición. Su rutina normal consistía en seis sesiones de entrenamiento de 90 minutos cada semana, además de un partido competitivo jugado durante el fin de semana. El acondicionamiento físico se realizaba tres veces por semana; tenía como objetivo el desarrollo de la fuerza, e incorporaba elementos de entrenamiento intervalado de alta intensidad, levantamiento de pesas, pliometría, levantamiento de potencia y gimnasia. El entrenamiento anaeróbico se basaba en ejercicios de entrenamiento pliométrico y de sprint, y la capacidad aeróbica se desarrollaba utilizando juegos reducidos. Las sesiones de entrenamiento consistían principalmente en el desarrollo de habilidades técnico-tácticas (60% del tiempo de la sesión) y rutinas de fuerza y acondicionamiento (40% del tiempo de la sesión). Durante la intervención de 10 semanas, el grupo de control mantuvo su entrenamiento estándar, mientras que el grupo experimental reemplazó una parte de su régimen normal (desarrollo de habilidades técnico-tácticas) con un programa de entrenamiento de fuerza que se llevó a cabo dos veces por semana (Fig. 1).



<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214827.g001>

Programa de Pruebas

Todas las pruebas se realizaron en la misma cancha de balonmano cubierta, bajo condiciones ambientales similares (temperatura, $22,1 \pm 0,5$ C; humedad relativa $60 \pm 5\%$), y a la misma hora del día (5:00 p.m. a 7:00 p.m.). Se evitó el entrenamiento intensivo durante 24 horas, y los participantes también ayunaron durante tres horas antes de la prueba. Los ejercicios de calentamiento estandarizados precedieron a todos los esfuerzos máximos; estos incluyeron 5 minutos de carrera de baja intensidad, 3 x 30 m de aceleraciones progresivas y un sprint máximo de 30 m, intercalados con períodos de 3 minutos de recuperación pasiva. El calentamiento previo a las pruebas de lanzamiento incluyó flexiones de brazos con ambas manos en el suelo, de 8 a 10 lanzamientos libres y ejercicios tales como rotación de tronco, flexiones laterales de tronco, wood-chops de tronco y movimientos de rotación internos y externos del hombro, con una abducción de hombro de 90° y flexión del codo de 90° para simular la posición de lanzamiento.

Las pruebas se integraron en los programas semanales de entrenamiento de los participantes. La familiarización dos semanas antes de la prueba definitiva determinó los valores de una repetición máxima (1-RM) para las diferentes pruebas de fuerza. Las tres evaluaciones definitivas se realizaron antes del entrenamiento, después de 10 semanas de entrenamiento de fuerza adicional y después de 2 semanas de tapering. Todos los grupos de pruebas utilizaron procedimientos idénticos, y fueron administrados en tres días no consecutivos por técnicos ciegos a la asignación de grupos. El primer día, las evaluaciones antropométricas fueron seguidas de los squat y counter-movement jumps y finalmente de pruebas de fuerza-velocidad, primero en las extremidades superiores y luego en las inferiores. En el segundo día, se evaluó el rendimiento del sprint, seguido de 1 repetición máxima de press de banca (1-RMBP) y 1 repetición máxima de snatch (1-RMsnatch). En el tercer día, se determinó la velocidad de lanzamiento del balón, la prueba T-half, una repetición máxima de clean and jerk (1-RMclean-jerk) y una repetición máxima de media sentadilla (1-RMHS).

Día Uno

Antropometría.

Se utilizaron ecuaciones estándar para predecir el porcentaje de grasa corporal a partir de las lecturas de los pliegues cutáneos bicipital, tricipital, subescapular y suprailíaco [18]: $\%Body\ fat = a \cdot \log(\sum 4\ folds) - b$ donde $\sum S$ es la suma de las cuatro lecturas de pliegues cutáneos (en mm), y a y b son constantes dependiendo del sexo y la edad.

Squat Jump y Counter-movement Jump.

Las características del squat jump y del counter-movement jump (altura de salto, fuerza máxima antes del despegue, velocidad máxima antes del despegue y potencia media de salto) se determinaron utilizando una plataforma de fuerza (Quattro Jump, versión 1.0.9.2, Copyright 2002-2007, Acquisition Rate 500 Hz, Kistler Instrument AG, Winterthur, Suiza). La fuerza máxima antes del despegue se identificó como la fuerza pico, registrada al final o al principio de la fase de empuje durante la curva de fuerza-tiempo del squat jump y del counter-movement jump, respectivamente. El tiempo pasado en el aire se identificó como el período entre el despegue y el primer contacto con el suelo después del vuelo. Este

$$h = \frac{gt_f^2}{8}$$

tiempo se utilizó en la siguiente ecuación de aceleración uniforme [19]:

Donde:

h = altura de salto

g = aceleración debida a la gravedad ($9,81\text{ m/s}^2$), y

tf = tiempo de vuelo

Los sujetos comenzaron el SJ con sus caderas y rodillas flexionadas a 90 grados (auto-controladas, usando un espejo), y realizaron un salto vertical empujando hacia arriba y balísticamente, extendiendo sus caderas y rodillas, y manteniendo sus piernas rectas en todo momento. El counter-movement jump comenzó con los sujetos en posición erguida, se hizo un rápido movimiento hacia abajo de aproximadamente 90 grados de flexión de cadera y rodilla, y luego se invirtió el movimiento moviendo balísticamente hacia la extensión completa. Se permitió un minuto de descanso entre tres ensayos totales de cada ejercicio, y se registraron las mejores puntuaciones para cada uno.

La Prueba Fuerza-Velocidad.

Las mediciones de fuerza-velocidad para los miembros inferiores se realizaron en un ciclo-ergómetro Monark estándar (modelo 894 E, Monark Exercise AB, Vansbro, Suecia) [20]. En resumen, la velocidad máxima instantánea de pedaleo durante un sprint de 7 segundos se utilizó para calcular la potencia anaeróbica máxima para cada fuerza de frenado, y se juzgó que el sujeto había alcanzado la potencia máxima (Wpeak) si una carga adicional inducía una disminución en la potencia de salida. Las pruebas de brazos se realizaron utilizando un ciclo-ergómetro debidamente modificado [20,21]. Los parámetros medidos incluyeron la Wpeak, la fuerza máxima de frenado (F0) y la velocidad máxima de pedaleo (V0) tanto para los miembros superiores como para los inferiores [20,21]. Las pruebas de brazos comenzaron con una fuerza de frenado igual al 1,5% de la masa corporal del sujeto [20,21]. Después de una recuperación de 5 minutos, la fuerza de frenado aumentó en una secuencia de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9% de la masa corporal [20,21].

Día Dos

Rendimiento de Sprint de 30m.

El sprint de 30 metros comenzó con un calentamiento estandarizado. Los sujetos entonces corrieron 40m, con tiempos de 5, 15 y 30m registrados por una serie de fotocélulas emparejadas (Microgate, Bolzano, Italia). Tres ensayos fueron separados por 6-8 minutos de recuperación. Los sujetos comenzaron de pie, con el pie delantero a 0,2 m detrás del haz de la fotocélula de inicio.

1-RM de Press de Banca.

La fuerza máxima de la extremidad superior se evaluó mediante una repetición máxima sucesiva excéntrica-concéntrica de press de banca (1-RMBP) [20]. Se eligió el press de banca (extensión de codo) porque involucra los músculos del brazo, como los tríceps y los pectorales, que son específicos para el lanzamiento por encima de la cabeza. La prueba se realizó en un aparato para sentadillas. La barra estaba fijada en ambos extremos, y los rodamientos lineales sobre dos barras verticales sólo permitían movimientos verticales. La barra se colocó inicialmente a 10 mm por encima del pecho del sujeto y se apoyó en los topes inferiores del dispositivo de medición. El participante fue instruido para realizar una contracción excéntrica seguida de una contracción concéntrica desde la posición inicial, manteniendo los hombros en abducción de 90 grados durante la prueba. No se permitió rebotar ni arquear la espalda. Se proporcionó un calentamiento y consistió en cinco repeticiones al 40-60% del máximo percibido por cada sujeto. Posteriormente, se realizaron cuatro o cinco intentos separados por intervalos de descanso de 2 minutos hasta que la persona fuera incapaz de extender los brazos completamente. La última extensión aceptable se registró como la 1-RMBP.

Una Repetición Máxima de Snatch.

Se requería que los sujetos levantaran la barra cargada hacia arriba usando un amplio agarre desde la posición inicial de flexión de cadera y rodilla haciendo un solo movimiento hasta que ambos brazos se bloquearan en una posición de extensión. Después, el sujeto se movió de una posición de sentadilla baja a una posición de pie. Después de algunos ensayos de calentamiento con pesos más ligeros se realizaron los siguientes levantamientos: 2 al 70%, 2 al 80%, 1 al 90%, 1 al 95% y 2-3 al 100% de una repetición máxima (1-RM) [22].

Día Tres

Lanzamiento de Balonmano.

La fuerza explosiva se evaluó en una cancha de balonmano cubierta, utilizando un lanzamiento de 3 pasos con carrera y un lanzamiento de salto. Después de un calentamiento estandarizado de 10 minutos, los participantes lanzaron un balón de balonmano estándar (masa 480 g, circunferencia 58 cm). Se les permitió poner resina en sus manos, y luego lanzaron con la máxima velocidad hacia la esquina superior derecha de la portería. Los entrenadores supervisaron de cerca estas pruebas para asegurarse de que se siguieran las técnicas adecuadas. Cada individuo continuó hasta que se registraron tres lanzamientos correctos, haciendo un máximo de tres series de tres lanzamientos consecutivos. Se permitió un descanso de 1 a 2 minutos entre las series y de 10 a 15 segundos entre dos lanzamientos en la misma serie. Para el lanzamiento de salto, los jugadores hicieron una carrera preparatoria de tres pasos antes de saltar verticalmente y soltar el balón en el aire, detrás de una línea a 9 m de la portería. Para el lanzamiento con carrera, los jugadores hicieron una carrera preparatoria limitada a tres pasos regulares antes de soltar el balón, detrás de la línea, a 9 m de la portería. El tiempo de lanzamiento se registró con una precisión de 1ms, usando una cámara de video digital (HVR a A1U DV Camcorder; Sony, Tokio, Japón). La cámara se colocó sobre un trípode 2 m por encima y perpendicular al plano de lanzamiento del balón. El

software de procesamiento de datos (Regavi & Regressi, Microlec, Coulommiers, Francia) convirtió las medidas de desplazamiento a velocidades. La validez de la cámara y del software de procesamiento de datos en condiciones de trabajo se verificó [23] midiendo la velocidad de los balones rodantes (2-14 m/s) con la cámara (Vc) y comprobando los datos a lo largo de una distancia determinada (3 m) frente a las mediciones realizadas utilizando células fotoeléctricas (Vpc) (GLOBUSREHAB y Sports High Tech, Artículo ERGO TIMER, Codognè, Italia). Las dos estimaciones de la velocidad del balón estaban bien correlacionadas entre sí ($V_c = 0,9936V_{pc} + 0,65$; $r = 0,99$; $p < 0,0001$) [23]. El lanzamiento con la mayor velocidad media fue seleccionado para un análisis posterior.

Prueba T-half.

La prueba T-half [24] se realizó utilizando el mismo protocolo que la prueba T, excepto que la distancia total recorrida se redujo de 36,56 a 20 m y las distancias entre los conos se modificaron en consecuencia. Los sujetos comenzaron de pie, con el pie delantero 0,2 m detrás del haz de la fotocélula de inicio (Microgate, Bolzano, Italia). Los criterios para los ensayos de prueba aceptables fueron los mismos que en la prueba T, con el registro de lo mejor de dos ensayos finales (sesión de prueba y repetición).

Una Repetición Máxima de Clean and Jerk.

En el Clean and Jerk Olímpico, la barra cargada fue levantada en un solo movimiento con un agarre ancho de hombro y las rodillas inicialmente flexionadas hacia el pecho. El participante se levantó de esta posición en sentadilla baja y luego levantó la barra cargada extendiendo sus brazos para llevar la barra por encima de la cabeza [22].

Una Repetición Máxima de Media Sentadilla

Los participantes mantuvieron una posición erguida en todo momento. La barra se agarró firmemente con ambas manos y también se apoyó sobre los hombros del sujeto. Las caderas y rodillas se flexionaron inicialmente a 90 grados, pero se extendieron completamente durante la parte concéntrica de la prueba. El calentamiento consistió en una serie de cinco repeticiones a cargas del 40%-60% del máximo percibido. Para medir la 1-RM, la barra fue cargada con pesos libres hasta un 90% de la 1-RM de la pre-prueba. Se realizaron dos pruebas consecutivas, y si se dominaban las dos repeticiones, se añadía una carga de 5 kg después de un intervalo de recuperación de 3 minutos. Cuando el participante había realizado dos repeticiones exitosas de su valor de RM pre-prueba, se añadieron cargas adicionales de 1 kg después del intervalo de recuperación [25]. Si la segunda repetición no podía completarse con la nueva carga, la carga correspondiente se consideraba como la 1-RM [25] del individuo.

Programa de Entrenamiento de Levantamiento de Pesas.

Todas las sesiones de entrenamiento fueron supervisadas por especialistas certificados en fuerza y acondicionamiento, conocedores de las pautas y pedagogía de levantamiento de pesas. Se animó a los participantes a aumentar la cantidad de peso levantado dentro de cada rango de repetición designado, y todos completaron un mínimo del 95% de las sesiones programadas. Se realizó un calentamiento estandarizado que incluye jogging, ejercicios de estiramiento dinámico, ejercicios de calistenia y ejercicios de levantamiento de pesas fundamentales específicos para su programa de entrenamiento; las sesiones terminaron con 5 minutos de actividades de vuelta a la calma que incluyeron estiramientos dinámicos.

Cada sesión de entrenamiento comprendía cuatro ejercicios diferentes de 3 series de 5-10 repeticiones [25]. Todos eran levantamientos compuestos que implicaban movimientos multi-articulares y grupos musculares múltiples. El volumen y la intensidad del esfuerzo se basaron en las recomendaciones anteriores para los jugadores de balonmano [26], y en la capacidad de cada individuo [27] según lo establecido a partir de sus 10 repeticiones máximas en los ejercicios de fuerza seleccionados. A los participantes se les pidió que levantaran su peso máximo para un número dado de repeticiones mientras utilizaban la técnica adecuada. Los instructores revisaron la técnica y realizaron los ajustes adecuados en la carga durante cada sesión de entrenamiento. Si el número requerido de repeticiones no podía ser completado dentro de una serie, se les daba a los individuos de 30 segundos a 1 minuto de descanso antes de intentar completar la serie de nuevo.

Los cuatro ejercicios de entrenamiento de fuerza fueron: snatch desde una posición en sentadilla, press de banca, media sentadilla, y clean and jerk, usando una barra de levantamiento de pesas certificada con discos Olímpicos. Durante las primeras 2 semanas, se realizaron de 3 a 4 series de 6 a 8 repeticiones de cada ejercicio. La carga inicial correspondió al 60% de 1-RM del individuo, y se permitieron 3 minutos de descanso entre series. Durante la tercera, cuarta y quinta semana, el volumen se incrementó a 3 series de 6-10 repeticiones, con cargas correspondientes al 70% de 1-RM del participante. Durante las últimas 5 semanas, se realizaron 3 series de 5-10 repeticiones al 75-85% de 1-RM. Durante las semanas 11 y 12, el volumen de entrenamiento se redujo en aproximadamente dos tercios y la frecuencia de entrenamiento en un 50% (Tabla 1).

Tabla 1. Programa de entrenamiento de levantamiento de pesas y período de tapering durante 12 semanas.

Exercises	Clean and Jerk	Bench press	Snatches	Half-squat
Session 1	60% : 3 x 6	60% : 3 x 6	60% : 3 x 6	60% : 3 x 6
Session 2	60% : 3 x 6	60% : 3 x 6	60% : 3 x 6	60% : 3 x 6
Session 3	60% : 4 x 8	60% : 4 x 8	60% : 4 x 8	60% : 4 x 8
Session 4	60% : 4 x 8	60% : 4 x 8	60% : 4 x 8	60% : 4 x 8
Session 5	70% : 3 x 6	70% : 3 x 6	70% : 3 x 6	70% : 3 x 6
Session 6	70% : 3 x 6	70% : 3 x 6	70% : 3 x 6	70% : 3 x 6
Session 7	70% : 3 x 8	70% : 3 x 8	70% : 3 x 8	70% : 3 x 8
Session 8	70% : 3 x 8	70% : 3 x 8	70% : 3 x 8	70% : 3 x 8
Session 9	70% : 3 x 10	70% : 3 x 10	70% : 3 x 10	70% : 3 x 10
Session 10	70% : 3 x 10	70% : 3 x 10	70% : 3 x 10	70% : 3 x 10
Session 11	75% : 3 x 8	75% : 3 x 8	75% : 3 x 8	75% : 3 x 8
Session 12	75% : 3 x 8	75% : 3 x 8	75% : 3 x 8	75% : 3 x 8
Session 13	75% : 3 x 10	75% : 3 x 10	75% : 3 x 10	75% : 3 x 10
Session 14	80% : 3 x 6	80% : 3 x 6	80% : 3 x 6	80% : 3 x 6
Session 15	80% : 3 x 6	80% : 3 x 6	80% : 3 x 6	80% : 3 x 6
Session 16	80% : 3 x 7	80% : 3 x 7	80% : 3 x 7	80% : 3 x 7
Session 17	80% : 3 x 7	80% : 3 x 7	80% : 3 x 7	80% : 3 x 7
Session 18	80% : 3 x 7	80% : 3 x 7	80% : 3 x 7	80% : 3 x 7
Session 19	85% : 3 x 5	85% : 3 x 5	85% : 3 x 5	85% : 3 x 5
Session 20	85% : 3 x 5	85% : 3 x 5	85% : 3 x 5	85% : 3 x 5
<u>Tapering period</u>				
Session 21	50% : 2 x 12	50% : 2 x 12	50% : 2 x 12	50% : 2 x 12
Session 22	50% : 2 x 12	50% : 2 x 12	50% : 2 x 12	50% : 2 x 12
Session 23	50% : 2 x 12	50% : 2 x 12	50% : 2 x 12	50% : 2 x 12
Session 24	50% : 2 x 12	50% : 2 x 12	50% : 2 x 12	50% : 2 x 12

1-RM%: Set x Repetition

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214827.t001><https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214827.t001>

Análisis Estadísticos

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando SPSS versión 25.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, EEUU). Antes de los análisis estadísticos de inferencia, todas las variables se probaron para la distribución normal (Kolmogorov-Smirnov-Test) y el supuesto de homogeneidad de varianza (Levenè-Test para la igualdad de las varianzas). Todas las variables mostraron una distribución normal en cada punto temporal. Se calcularon las medias y las desviaciones estándar de las variables dependientes entre los participantes. Las diferencias entre los grupos (experimental versus control) y las sesiones (pre- versus post-intervención) fueron probadas usando un modelo lineal general univariante de dos factores (tiempo, grupo) [28] para ambas fases de la intervención (sesión 1 versus 2: efectos del programa de entrenamiento; sesión 2 versus 3: efectos del período de tapering). Los cambios porcentuales se calcularon como $(\text{valor post-entrenamiento} - \text{valor pre-entrenamiento}) / \text{valor pre-entrenamiento} \times 100$. El tamaño del efecto (d) (diferencia media de las puntuaciones dividida por la desviación estándar agrupada) se calculó para cada parámetro [29]. Después de aplicar una corrección de Bonferroni ($p < 0,05$ dividido por el número de pruebas (14)), el nivel de significación (p) se estableció en $p < 0,003$. En consecuencia, las diferencias entre las medias (grupo, tiempo y efectos de grupo-tiempo) se consideraron estadísticamente

significativas si: $p < 0,003$ y $\eta^2 > 0,20$ y $d \geq 0,5$ [28]. Aplicando un cálculo de potencia para este diseño de estudio y asumiendo que $p < 0,01$, $1 - \beta = 0,80$ y $d = 0,5$, habrían sido necesarios 80 sujetos por grupo para probar la hipótesis de forma concluyente [28]. Debido al número relativamente pequeño de casos en cada grupo ($n = 10$), las decisiones sobre la significación se basaron en los tres valores estadísticos, para evitar una sobreestimación de los efectos de la intervención.

Resultados

El cumplimiento del grupo experimental con el entrenamiento agregado fue alto, cada sesión de ejercicio se completó con un alto nivel de motivación y esfuerzo. Durante la intervención de 10 semanas, los datos demostraron efectos de interacción significativos (grupo x tiempo) en 12 de los 19 parámetros (Tabla 2, Figs. 2-5). Los tamaños del efecto fueron todos mayores de 0,90; la mayor ganancia fue en el tiempo de sprint de 15 m ($d = 3,78$), y el mayor efecto de interacción fue para la media sentadilla ($p < 0,001$, $\eta^2 = 0,827$). Cinco parámetros (SJ, V0 y F0 para miembros superiores e inferiores) no mostraron efectos de interacción significativos. Tres disminuciones relevantes ($d \geq -0,5$) del rendimiento (potencia absoluta y F0 de los miembros inferiores: $d = -0,86$ y $d = -0,56$ respectivamente; snatch: $d = -0,66$) se observaron en el grupo de control (Tabla 2).

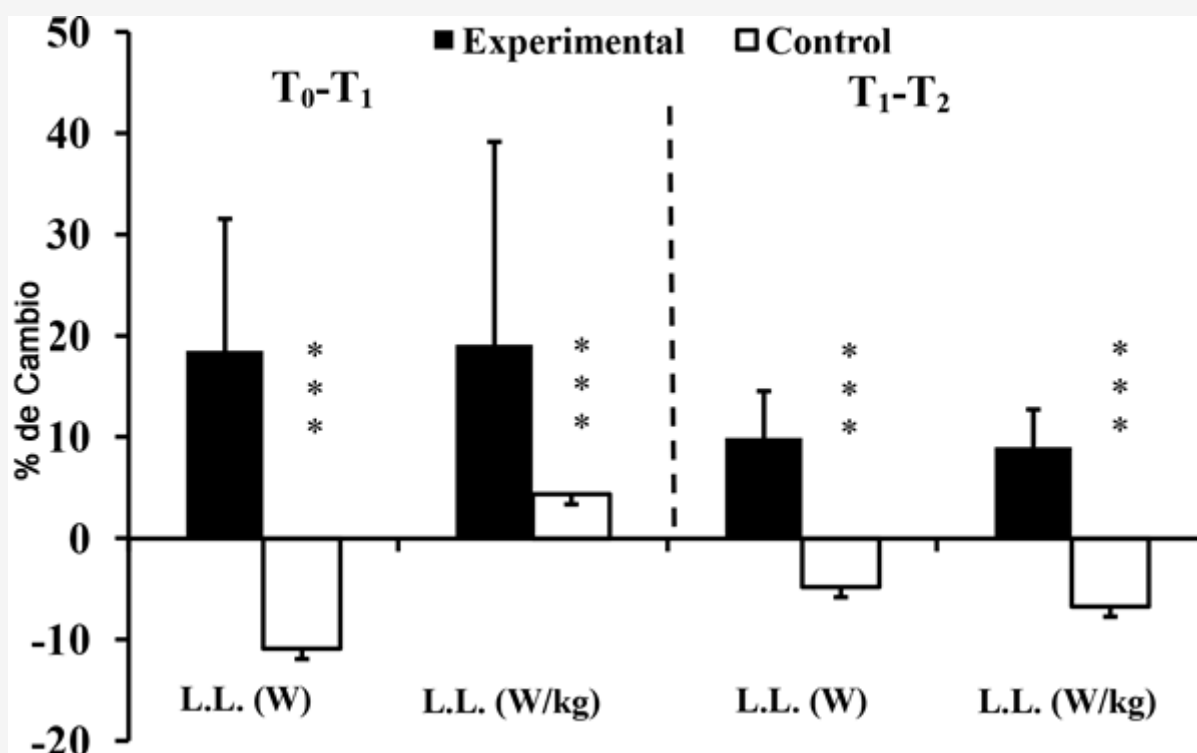


Figura 2. Cambios porcentuales de la potencia de los miembros inferiores en T1 y T2 para los grupos Experimental (E) y Control (C). T0: antes del entrenamiento; T1: después de 10 semanas de entrenamiento de fuerza; T2: después de 2 semanas de tapering; L.L.: miembros inferiores; ***: ANOVA interacción grupo x tiempo significativamente diferente entre E y C al nivel de $p < 0,001$.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214827.g002>

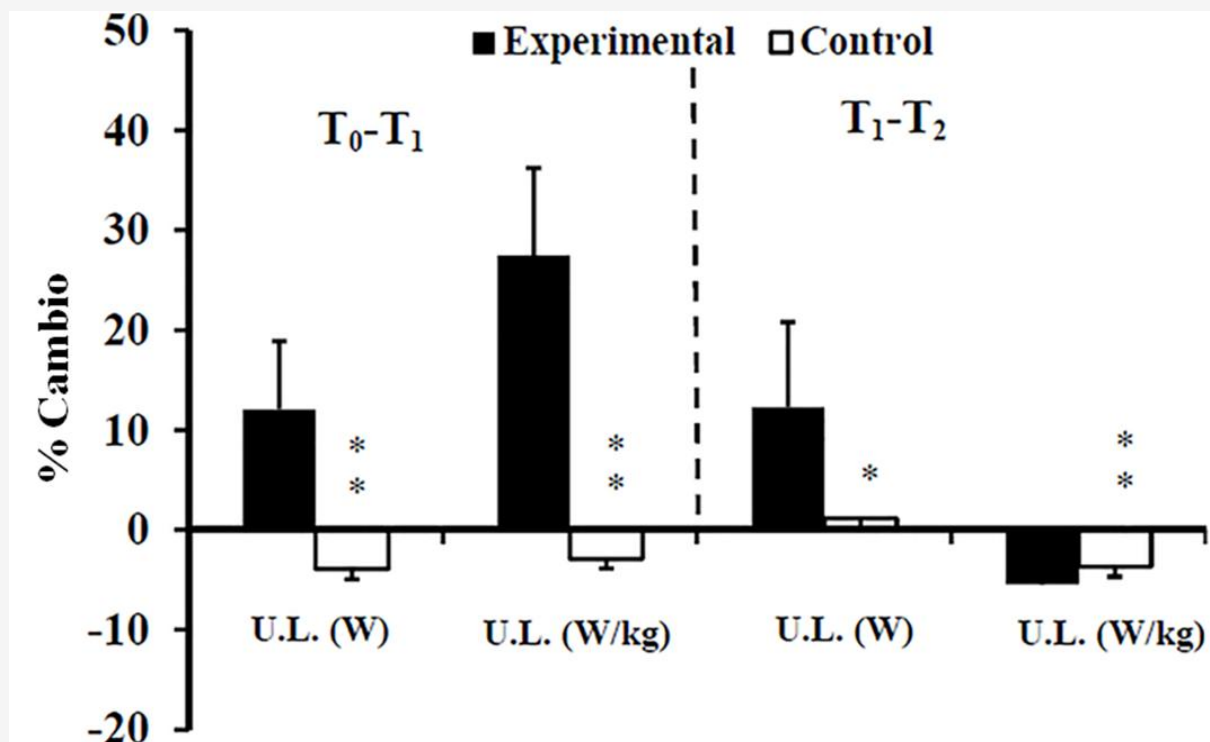


Figura 3. Cambios porcentuales de la potencia de los miembros superiores en T1 y T2 para los grupos Experimental (E) y Control (C). T0: antes del entrenamiento; T1: después de 10 semanas de entrenamiento de fuerza; T2: después de 2 semanas de tapering; U.L.: miembros superiores; ***: ANOVA interacción grupo x tiempo significativamente diferente entre E y C al nivel de $p < 0,05$; **: ANOVA interacción grupo x tiempo significativamente diferente entre E y C al nivel de $p < 0,01$.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214827.g003>

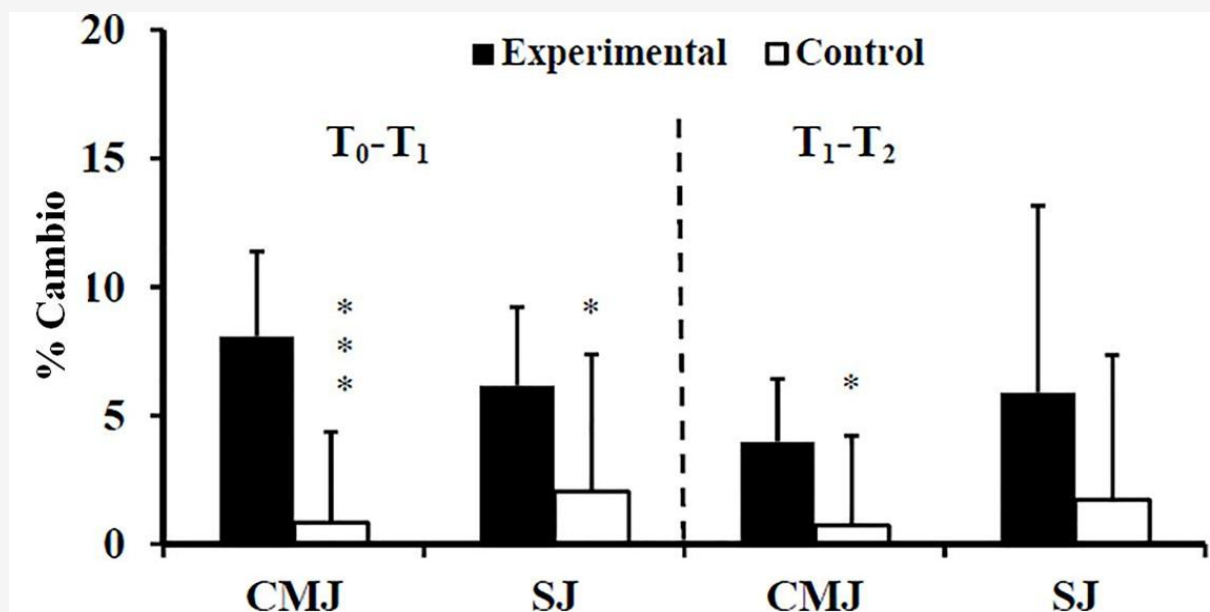


Figura 4. Cambios porcentuales de la altura de salto vertical en T1 y T2 para los grupos Experimental (E) y Control (C). T0: antes del entrenamiento; T1: después de 10 semanas de entrenamiento de fuerza; T2: después de 2 semanas de tapering; CMJ: Counter-movement Jump; SJ: Squat Jump; *: ANOVA interacción grupo x tiempo significativamente diferente entre E y C al nivel de $p < 0,05$; ***: ANOVA interacción grupo x tiempo significativamente diferente entre E y C al nivel de $p < 0,001$.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214827.g004>

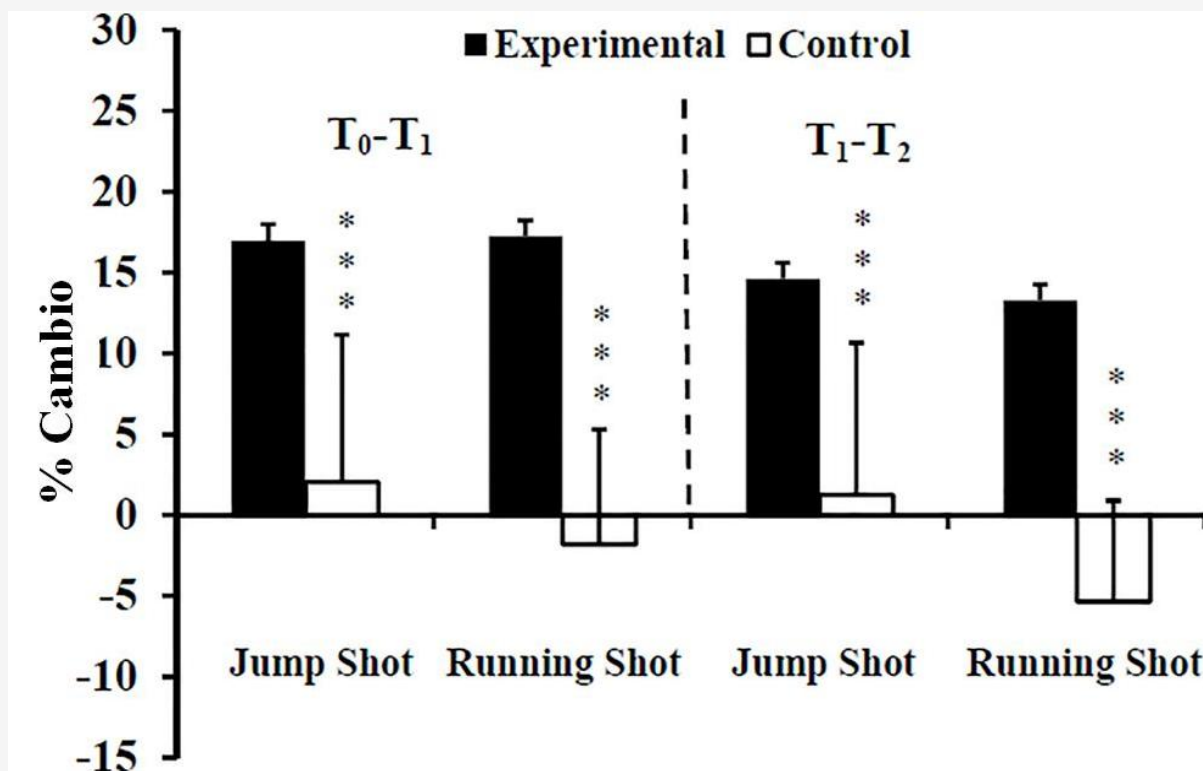


Figura 5. Cambios porcentuales de la velocidad de lanzamiento del balón en T₁ y T₂ para los grupos Experimental (E) y Control (C). T₀: antes del entrenamiento; T₁: después de 10 semanas de entrenamiento de fuerza; T₂: después de 2 semanas de tapering; ***: ANOVA interacción grupo x tiempo significativamente diferente entre E y C al nivel de $p < 0,001$.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214827.g005>

Tabla 2. Comparación entre los grupos experimental y control antes y después de 10 semanas de entrenamiento (examen 1 versus 2). Los efectos de interacción significativos y los tamaños de los efectos se resaltan en negrita.

Parameter	Experimental Group (Mean±SD)			Control Group (Mean±SD)			Variance analysis/ effects					
	Pre	Post		Pre	Post		Group		Time		Group x time	
			d			d	p	η ²	p	η ²	p	η ²
	Sprint performance and ability to change direction (s)											
Sprint 15 m	2.74±0.08	2.40±0.10	3.78	2.96±0.62	3.11±0.56	0.03	0.020	0.265	0.054	0.191	< 0.001	0.601
Sprint 30 m	4.69±0.18	4.41±0.20	0.95	4.68±0.24	4.77±0.27	0.09	0.066	0.176	0.036	0.222	0.001	0.493
Agility t-half test (s)	6.86±0.46	6.02±0.36	2.05	6.34±0.24	6.35±0.34	-0.04	0.525	0.023	<0.001	0.620	< 0.001	0.639
	Throwing performance (m/s)											
Jump shot (m/s)	21.9±3.1	25.6±3.7	1.07	25.7±4.1	26.0±2.8	0.09	0.177	0.099	<0.001	0.500	0.001	0.437
Running shot (m/s)	27.7±2.2	32.4±2.1	2.19	25.4±3.8	24.9±3.6	-0.14	0.001	0.442	<0.001	0.629	< 0.001	0.730
	Jump performance (cm)											
CMJ (cm)	39.1±2.2	42.2±1.6	1.63	40.3±2.0	40.6±2.1	0.15	0.773	0.005	<0.001	0.670	< 0.001	0.573
SJ (cm)	39.8±2.3	42.2±1.8	1.18	38.6±2.3	39.4±2.2	0.36	0.039	0.216	0.001	0.490	0.039	0.215
	1RM (kg)											
half squat (1RM)	159±12	177±12	1.46	136±17	129±19	-0.39	<0.001	0.605	0.001	0.491	< 0.001	0.827
bench press (1RM)	74.5±7.6	86.0±9.9	1.31	81.7±10.8	78.1±9.3	-0.36	0.933	0.000	0.003	0.406	< 0.001	0.713
Snatch (1RM)	55.5±4.4	68.9±3.3	3.48	61.5±5.8	57.5±6.3	-0.66	0.167	0.104	0.002	0.420	< 0.001	0.713
Clean & jerk (1RM)	63.0±5.9	73.8±5.4	1.92	64.0±8.1	63.5±7.8	-0.06	0.125	0.126	<0.001	0.558	< 0.001	0.603
	Power of lower limb											
Power (W)	845±116	995±85	1.38	836±85	747±118	-0.86	0.008	0.333	0.064	0.178	< 0.001	0.762
Power (W/kg)	10.0±1.6	11.8±1.5	1.69	9.9±1.3	8.9±1.7	0.35	0.035	0.224	0.078	0.162	< 0.001	0.752
V ₀ (rpm)	212±16.6	229±14.9	1.08	221±13.1	218±13.9	-0.22	0.807	0.003	0.032	0.230	0.008	0.327
F ₀ (N)	154±21.7	158±20.6	0.19	142±16.2	133±15.25	-0.56	0.015	0.285	0.599	0.016	0.169	0.102
	Power of upper limb											
Power (W)	438±54	486±30	3.18	454±64	431±58	-0.38	0.372	0.044	0.276	0.065	0.004	0.377
Power (W/kg)	5.1±0.8	5.7±0.5	0.92	5.7±1.1	5.4±0.9	-0.20	0.710	0.008	0.390	0.041	0.008	0.332
V ₀ (rpm)	145±4.18	144±7.24	-0.18	145±8.70	144±10.7	-0.10	0.977	0.000	0.505	0.025	0.747	0.006
F ₀ (N)	129±20.7	129±14.9	0	129±15.2	124±18	-0.36	0.732	0.007	0.548	0.020	0.414	0.037

CMJ = countermovement jump; SJ = squat jump.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214827.t002>

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214827.t002>

Durante el período de tapering de 2 semanas, los cambios fueron menores (Tabla 3), pero 8 de los 19 parámetros mostraron efectos de interacción adicionales.

Tabla 3. Comparación entre los grupos experimental y control antes y después de 2 semanas de tapering (examen 2 versus 3). Los efectos de interacción significativos y los tamaños de los efectos se resaltan en negrita.

Parameter	Experimental Group (Mean±SD)			Control Group (Mean±SD)			Variance analysis/ effects					
	Pre	Post		Pre	Post		Group		Time		Group x time	
			d			d	p	η ²	p	η ²	p	η ²
Sprint performance and ability to change direction (s)												
Sprint 15 m	2.40±0.10	2.16±0.13	2.09	3.11±0.56	3.37±0.55	-0.01	<0.001	0.646	0.843	0.002	<0.001	0.451
Sprint 30 m	4.41±0.20	4.40±0.12	0.06	4.77±0.27	4.87±0.17	-1.03	<0.001	0.630	0.311	0.057	0.230	0.079
Agility t-half test (s)	6.02±0.36	6.06±0.11	-0.17	6.35±0.34	6.55±0.28	-0.65	0.002	0.409	0.054	0.190	0.207	0.087
Throwing performance (m/s)												
Jump shot (m/s)	25.6±3.7	29.4±4.8	0.89	26.0±2.8	26.2±3.1	0.07	0.390	0.041	<0.001	0.519	0.001	0.457
Running shot (m/s)	32.4±2.1	36.7±2.6	1.84	24.9±3.6	23.6±4.4	-0.33	<0.001	0.739	<0.001	0.596	<0.001	0.829
Jump performance (cm)												
CMJ height (cm)	42.2±1.6	43.9±1.5	1.10	40.6±2.1	40.9±2.9	0.12	0.018	0.272	0.002	0.428	0.023	0.255
SJ height (cm)	42.2±1.8	44.7±3.8	0.90	39.4±2.2	40.1±3.7	0.24	0.006	0.346	0.015	0.288	0.158	0.108
1RM (kg)												
half-squat (1RM)	177±12	188±10.0	0.99	129±19	131±28	0.09	<0.001	0.704	0.016	0.282	0.094	0.148
bench press (1RM)	86.0±9.9	93.5±9.1	0.79	78.1±9.3	74.5±8.9	-0.40	0.004	0.372	0.010	0.313	<0.001	0.785
Snatch (1RM)	68.9±3.3	74.0±2.1	1.88	57.5±6.3	56.0±6.1	-0.24	<0.001	0.734	0.005	0.364	<0.001	0.658
Clean & jerk (1RM)	73.8±5.4	79.5±4.9	1.11	63.5±7.8	63.0±7.9	-0.06	<0.001	0.541	0.001	0.480	<0.001	0.567
Power of lower limb												
Power (W)	995±85	1086±77	1.11	747±118	698±113	-0.42	<0.001	0.752	0.097	0.145	<0.001	0.659
Power (W/kg)	11.8±1.5	12.8±1.5	0.15	8.9±1.7	8.3±1.6	-0.36	<0.001	0.617	0.060	0.183	<0.001	0.666
V ₀ (rpm)	229±15	238±13	0.64	218±14	219±13	0.07	0.023	0.256	0.006	0.353	0.014	0.293
F ₀ (N)	158±21	163±26	0.21	133±15.2	126±12.7	-0.49	0.001	0.461	0.736	0.006	0.117	0.131
Power of upper limb												
Power (W)	486±30	545±23	1.62	431±58	444±72	-0.12	0.001	0.457	0.002	0.428	0.032	0.232
Power (W/kg)	5.7±0.5	6.4±0.5	0.89	5.4±0.9	5.2±0.6	-0.20	0.007	0.336	0.095	0.147	0.009	0.322
V ₀ (rpm)	147±7.24	142±7.71	-0.67	144±10.7	137±8.01	-0.75	0.368	0.045	0.034	0.226	0.256	0.071
F ₀ (N)	129±14.9	139±17.3	0.61	124±18	128±12.5	0.26	0.123	0.127	0.182	0.097	0.569	0.018

CMJ = countermovement jump; SJ = squat jump.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214827.t003>

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214827.t003>

El mayor efecto de interacción en esta etapa fue para el lanzamiento con carrera: $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,829$), y la mayor ganancia adicional fue para el sprint de 15 m ($d = 2,09$). Por otra parte, se observó una reducción de las puntuaciones del grupo experimental para el V₀ de los miembros superiores ($d = -0,67$) y para la prueba t-half ($d = -0,17$). Aunque las puntuaciones continuaron aumentando durante el período de tapering, según los tamaños del efecto [29], los aumentos fueron generalmente menores que durante el período de entrenamiento de fuerza de 10 semanas ($\Delta TG1 = 1,54$ versus $\Delta TG2 = 0,84$).

El rendimiento del grupo de control permaneció generalmente estable cuando el grupo experimental estaba en tapering, con alguna tendencia a una regresión del rendimiento en unos pocos ítems; en particular, la prueba de sprint de 30 m mostró un marcado descenso durante este período ($d = -1,03$, Tabla 3).

Discusión

Los datos actuales muestran aumentos sustanciales en muchas medidas de rendimiento en el grupo experimental durante el período de dos semanas de tapering. Los aumentos porcentuales en la potencia pico de las extremidades inferiores y en el rendimiento del squat jump (12,1% y 4% respectivamente) fueron inferiores a los observados en algunos ensayos anteriores, como de Lacey et al. [30] (que encontraron aumentos del 45% y 35% en la altura de los saltos y en la potencia máxima respectivamente, Tabla 4). Sin embargo, la mejora del rendimiento del counter-movement jump (4%) fue similar al aumento del 5% en esta misma prueba informada por Pritchard et al. [31] (Tabla 4).

Tabla 4. Eficacia de los diferentes tipos de entrenamiento y fases de tapering en el rendimiento de deportistas de distintos niveles y deportes.

Author	Nature of sample	Training phase	Tapering phase	Test measure		Performance gain during training phase	Added performance gain during tapering	
de Lacey et al. [30]	Professional rugby league players (age, 24.6 ± 3.6 years)	4-month pre-season training period	Taper occurred during the final 21 days	Jump height			35%	
				Force-velocity profiles				
				F ₀			18%	
				V ₀			2.86%	
Gibala et al. [37]	Trained healthy Athletes males (Age, 23 ± 2.1 years) (n = 8)	3-week	10 days of reduced volume taper	P _{max}			45%	
				Peak twitch			25%	
				Time to peak torque of elbow			3%	
				Half-relaxation time of elbow			0%	
Jeukendrup et al. [15]	Male competitive cyclists (n = 8)	2-week of intensified heavy training	2-week of recovery	Cycle ergometer test an outdoor 8.5 km time trial		Contests and maximal power output	Contests and maximal power output p<0.05	
						Maximal lactate	Maximal lactate p<0.05	
						Submaximal lactate	Submaximal lactate p<0.05	
						VO2 max	VO2 max p<0.05	
Johns et al. [16]	Intercollegiate swimmers (n = 12)			Power during tethered sprint swim			5%	
				Distance per stroke			0%	
				Oxygen consumption			0%	
				Blood lactate level during a 182.9-m submaximal swim			0%	
Maestu et al. [5]	Male national standard rows (n = 12)	3 week heavy training	2-week tapering	2000 meter rowing ergometer				
				Leptin			Leptin: 8% decrease	
				Testosterone			Testosterone: 9% increase	
Margaritis et al. [6]	Male triathletes (n = 16)	4-week normal training	2-week tapering	Swimming (km/week)			57%	
				Cycling (km/week)			40%	
				Running (km/week)			37%	
Mujika et al. [10]	Elite swimmers (n = 18)		3-, 4-, and 6-week tapering	Swim			1.81 and 3.20%	
Mujika et al. [3]	Olympic Swimmers (50 males, 49 females)	13-week regular training	3-week tapering	Male	Female		Male	Female
				50 m Free-style	50 m Free-style		1.73	2.06
				100 m Free-style	100 m Free-style		2.59	2.33
				200 m Free-style	200 m Free-style		3.25	1.49
				400 m Free-style	400 m Free-style		1.82	-0.53
				800 m Free-style	800 m Free-style			1.06
				100 m Backstroke	100 m Backstroke		2.82	1.09
				200 m Backstroke	200 m Backstroke		2.05	1.15
				100 m Backstroke	100 m Backstroke		2.84	1.92
				200 m Backstroke	200 m Backstroke		2.45	1.11
				100 m Butterfly	100 m Butterfly		2.19	2.64
				200 m Butterfly	200 m Butterfly		2.90	3.04
				200 m Individual Medley	200 m Individual Medley		3.20	2.25
				400 m Individual Medley	400 m Individual Medley		0.42	1.78
Neary et al. [4]	Male cyclists (n = 11)	3-week high intensity endurance-training	7-day tapering	20-km time trials (20TT).			(5.4%, p < 0.05)	
Pritchard et al. [31]	Resistance trained males (n = 8)	Two four-week strength training periods	3.5 days (3.68 ± 0.12 days) or 5.5 days (5.71 ± 0.13 days) of training cessation.	CMJ		0% or 5%	5% or 2%	
				Isometric mid-thigh pull (MTP*) Relative Peak Force (N/kg)		3% or 2%	3% or 2%	
Rhobi et al. [34]	28 healthy males	5 weeks (3 sets × 10 repetitions with 2 min of rest; intensity = 10 repetition maximum) in 3 exercises (i.e., squat, leg extension and leg curl)	2-week of tapering: performed 3 sets of 10RM to 6RM (i.e., decreased by 1 repetition per session) with 3 min of recovery between sets	Isometric bench press (IBP) Relative Peak Force (N/kg)		5% or 2%	4% or 1%	
				Squat jump		P < 0.01	P < 0.001	
				Counter-movement jump		P < 0.01	P < 0.001	
				1RM half-squat		P < 0.001	P < 0.001	

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214827.t004>

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214827.t004>

Potencia y Fuerza Máxima

Algunos investigadores anteriores han utilizado ejercicios dinámicos de levantamiento de pesas Olímpico para examinar los efectos del entrenamiento de fuerza sobre la potencia muscular máxima de los jugadores de balonmano [21,25], pero nuestro estudio es el primero en comparar las ganancias de potencia máxima con cargas de levantamiento de pesas, utilizando ejercicios sucesivos de levantamiento de pesas excéntricos-concéntricos para la parte superior e inferior del cuerpo. Los sujetos experimentales mostraron ganancias de potencia absoluta tanto en las extremidades inferiores (18%; $p<0,01$) como en las superiores (11%; $p<0,01$), aunque sin cambios significativos de potencia en relación con la masa corporal de las extremidades superiores. Estos resultados parecen estar relativamente en buena concordancia con Arabatzi et al. [32], quienes notaron un aumento significativo en la potencia máxima de salida durante el counter-movement jump, pero no en la potencia máxima de salida durante el squat jump, después de un período de 8 semanas cuando los estudiantes hombres de educación física realizaron 3 sesiones semanales de levantamiento de pesas Olímpico. En contraste, Helland et al. [33] no vieron aumentos significativos en la potencia máxima de salida durante el CMJ, después de que los jugadores de fútbol se sometieron a un período de 8 semanas de entrenamiento de levantamiento de pesas Olímpico (3 sesiones por semana).

De acuerdo con el hallazgo actual, De Lacey et al. [30] también notaron aumentos significativos de potencia en relación con la masa corporal para las extremidades superiores (45%), así como la fuerza máxima teórica (18%) y la velocidad máxima teórica (2,86%) durante la prueba fuerza-velocidad, después de que un jugador de rugby profesional emprendiera un tapering de 21 días.

El rendimiento del balonmano no requiere sólo fuerza, sino también capacidad de ejercer fuerza a la velocidad necesaria. Se aplicaron ejercicios de Levantamiento de Pesas Olímpico de mayor duración con cargas variables, juzgando que tal prescripción era la mejor para maximizar la fuerza [32]. Después de las 10 semanas de entrenamiento de fuerza, el grupo experimental superó a los controles en todos los parámetros de fuerza, y esta ventaja persistió durante las 2 semanas de tapering. Rhibi et al. [34] también notaron aumentos significativos en la 1RM de media sentadilla de hombres jóvenes sanos después de 12 semanas de entrenamiento de fuerza de miembros inferiores seguido de 2 semanas de tapering, y en jugadores jóvenes de voleibol después de 5 semanas de entrenamiento de fuerza de miembros inferiores ($p<0,01$) seguido de 2 semanas de tapering ($p<0,01$) [34]. Asimismo, Zaras et al. [35] observaron aumentos significativos en la 1-RM de prensa de piernas de lanzadores adolescentes y adultos, después de 12 y 15 semanas de entrenamiento de fuerza de miembros inferiores ($p<0,05$) seguido de 2 semanas de tapering ($p<0,05$). Otros estudios también han visto aumentos significativos en la fuerza máxima, la potencia muscular [36], y la fuerza con el tapering después de 3-16 semanas de entrenamiento de fuerza [37]. Gibala et al. [37] argumentaron que 8 días de volumen de entrenamiento reducido eran suficientes para mejorar la fuerza muscular. Asimismo, Johns et al. [16] informaron aumentos del 3% de la fuerza muscular en nadadores después de 10 y 14 días de tapering. Bosquet et al. [38] sugirieron nuevamente que dos semanas de tapering eran el período óptimo para mejorar el rendimiento físico y eliminar la fatiga acumulada. Los períodos solitarios de tapering parecen inapropiados porque entonces existe el riesgo de desentrenamiento [39,40].

Velocidad de Lanzamiento del Balón

Después del período de entrenamiento inicial, el grupo experimental mostró mayores velocidades en los dos tipos de lanzamiento de balón (Tabla 2). Hermassi et al. [25] también notaron ganancias significativas para los 3 tipos de lanzamientos de balón después de 8 semanas de entrenamiento de fuerza pesado tanto para las extremidades superiores como para las inferiores. Chelly et al. [21] notaron ganancias con 8 semanas de entrenamiento pliométrico, y otro informe [41], describió ganancias en jugadores de balonmano hombres de élite de un programa de fuerza de 8 semanas. El presente estudio parece ser el primero en demostrar los beneficios de los ejercicios de levantamiento de pesas Olímpico, y subraya los beneficios de dos semanas de tapering posterior. Otros han demostrado el efecto beneficioso de 2 semanas de tapering en los lanzamientos de bala [35].

Rendimiento de Sprint y Capacidad de Cambio de Dirección

El sprint, los cambios rápidos de dirección y la aceleración son cualidades importantes en las competiciones de balonmano [25]. Después del período de entrenamiento de 10 semanas, se encontró una interacción significativa grupo x tiempo en el rendimiento del sprint de 15m y 30m ($p\leq 0,001$), y después del tapering se observó otra interacción significativa grupo x tiempo para el sprint de 15m. Tricoli et al. [42] observaron un significativo exceso de velocidad en el tiempo de sprint de 10m en los estudiantes hombres de educación física, pero no aumentos significativos en distancias de 30 metros, después de 8 semanas de entrenamiento levantamiento de pesas Olímpico. Otros [43] observaron aumentos significativos en los tiempos de sprint de 25 metros en deportistas universitarios varones después de 12 semanas de entrenamiento de levantamiento de pesas Olímpico, y Ayers et al. [44] observaron aumentos significativos en los 36,58 metros (40 yardas) pero no en los tiempos de sprint de 30 metros de deportistas universitarias mujeres después de 6 semanas de entrenamiento de levantamiento de pesas Olímpico. En contraste, Helland et al. [33] no vieron mejoras significativas en los

tiempos de sprint de 36,58 m (40 yardas) después de 8 semanas de levantamiento de pesas Olímpico en jugadores de fútbol, y Hoffman et al. [45] no vieron mejoras en los tiempos de sprint de 30 m después de que los deportistas jóvenes se sometieron a 15 semanas de levantamiento de pesas Olímpico.

Esta es la primera investigación que ha estudiado los efectos del tapering en la velocidad de lanzamiento de balón, pero otros han estudiado el efecto del tapering en el rendimiento del sprint repetido; Bishop et al. [46] observaron que no hubo un aumento significativo del trabajo total (4,4%, $p = 0,16$) o potencia pico (3,2%; $p = 0,18$) en deportistas femeninas durante la prueba de sprint de 5×6 segundos, pero vieron una disminución del trabajo (disminución de $7,9 \pm 4,3\%$; $p < 0,05$) y un aumento significativo en el rendimiento del lanzamiento de bala, después de 10 días de tapering. Otros autores han mostrado aumentos y disminuciones en el rendimiento del cambio de dirección [45,47,48]. La investigación actual parece ser la primera en haber estudiado los efectos del tapering en la capacidad de cambio de dirección; vimos un pequeño deterioro en las puntuaciones en la prueba T-half ($-0,7\%$) después del tapering.

Conclusiones

El entrenamiento de fuerza de corto plazo con ejercicios de levantamiento de pesas ofrece un estímulo que es excepcionalmente diferente de los levantamientos de pesas, y debería ser un componente de cualquier programa de entrenamiento de fuerza para los jugadores de balonmano, que requieren movimientos rápidos y potentes. El tapering mejora el rendimiento muscular y aumenta el rendimiento de la fuerza máxima, el salto vertical y la velocidad del balón. Los entrenadores pueden preferir usar programas jerárquicos de levantamiento cuando hay necesidad de mejorar la potencia, la fuerza, la velocidad, la capacidad de cambio de dirección y las habilidades de lanzamiento, ya que todas estas habilidades son mejoradas por este tipo de entrenamiento. Alternativamente, el entrenamiento de fuerza podría preceder al entrenamiento de levantamiento de pesas Olímpico, de modo que los participantes puedan primero lograr un aumento de la fuerza muscular y la estabilidad articular, permitiéndoles realizar ejercicios específicos de potencia para mejorar su rendimiento. La mayoría de las ganancias asociadas con el tapering parecen ser de un tamaño considerable y, por lo tanto, deberían ser de interés tanto para los jugadores de balonmano como para sus entrenadores. También animamos a que se investiguen más a fondo los numerosos factores potenciales que subyacen al aumento del rendimiento durante el tapering. Los factores que aún no se han aclarado incluyen tanto la intensidad óptima de esfuerzo durante el tapering como su duración.

Información Complementaria

S1 Archivo. Hoja de trabajo de datos de Excel.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214827.s001>
(XLSX)

REFERENCIAS

1. Costill DL, King DS, Thomas R, Hargreaves M. (1985). Effects of Reduced Training on Muscular Power in Swimmers. *Phys Sportsmed*;13(2):94-101. Epub 1985/02/01 00:00. pmid:27421325
2. Wenger HA, Bell GJ. (1986). The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med*. 1986;3(5):346-56. Epub 1986/09/01 00:00. pmid:3529283
3. Mujika I, Padilla S, Pyne D. (2002). Swimming performance changes during the final 3 weeks of training leading to the Sydney 2000 Olympic Games. *Int J Sports Med*. 2002;23(8):582-7. Epub 2002/11/20 04:00. pmid:12439774
4. Neary JP, Bhambhani YN, McKenzie DC. (2003). Effects of different stepwise reduction taper protocols on cycling performance. *Can J Appl Physiol*. 2003;28(4):576-87. Epub 2003/08/09 05:00. pmid:12904635
5. Maestu J, Jurimae J, Jurimae T. (2003). Hormonal reactions during heavy training stress and following tapering in highly trained male rowers. *Horm Metab Res*. 2003;35(2):109-13. Epub 2003/05/08. pmid:12734791.
6. Margaritis I, Palazzetti S, Rousseau AS, Richard MJ, Favier A. (2003). Antioxidant supplementation and tapering exercise improve exercise-induced antioxidant response. *J Am Coll Nutr*. 2003;22(2):147-56. Epub 2003/04/04 05:00. pmid:12672711
7. Houmard JA. (1991). Impact of reduced training on performance in endurance athletes. *Sports Med*. 1991;12(6):380-93. Epub 1991/12/01 00:00. pmid:1784880
8. Houmard JA, Johns RA. (1994). Effects of taper on swim performance. *Practical implications*. *Sports Med*. 1994;17(4):224-32. Epub 1994/04/01 00:00. pmid:8009136
9. Mujika I. (1998). The influence of training characteristics and tapering on the adaptation in highly trained individuals: a review. *Int J Sports Med*. 1998;19(7):439-46. Epub 1998/12/05 00:00. pmid:9839839
10. Mujika I, Busso T, Lacoste L, Barale F, Geyssant A, Chatard JC. (1996). Modeled responses to training and taper in competitive swimmers. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28(2):251-8. Epub 1996/02/01 00:00. pmid:8775162
11. Mujika I, Padilla S, Pyne D, Busso T. (2004). Physiological changes associated with the pre-event taper in athletes. *Sports Med*.

- 2004;34(13):891-927. Epub 2004/10/19. pmid:15487904.
12. Polla B, D'Antona G, Bottinelli R, Reggiani C. (2004). Respiratory muscle fibres: specialisation and plasticity. *Thorax*. 2004;59(9):808-17. Epub 2004/08/31. pmid:15333861; PubMed Central PMCID: PMC1747126.
 13. Mujika I, Padilla S. (2003). Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(7):1182-7. Epub 2003/07/04 05:00. pmid:12840640
 14. Banister EW, Carter JB, Zarkadas PC. (1999). Training theory and taper: validation in triathlon athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1999;79(2):182-91. Epub 1999/02/24. pmid:10029340.
 15. Jeukendrup AE, Hesselink MK, Snyder AC, Kuipers H, Keizer HA. (1992). Physiological changes in male competitive cyclists after two weeks of intensified training. *Int J Sports Med*. 1992;13(7):534-41. Epub 1992/10/01 00:00. pmid:1459749
 16. Johns RA, Houmard JA, Kobe RW, Hortobagyi T, Bruno NJ, Wells JM, et al. (1992). Effects of taper on swim power, stroke distance, and performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1992;24(10):1141-6. Epub 1992/10/01 00:00. pmid:1435162
 17. Neuffer PD. (1989). The effect of detraining and reduced training on the physiological adaptations to aerobic exercise training. *Sports Med*. 1989;8(5):302-20. Epub 1989/11/01 00:00. pmid:2692122
 18. Womersley J, Durnin JV. (1973). An experimental study on variability of measurements of skinfold thickness on young adults. *Hum Biol*. 1973;45(2):281-92. Epub 1973/05/01 00:00. pmid:4714567
 19. Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1983;50(2):273-82. Epub 1983/01/01. pmid:6681758.
 20. Chelly MS, Hermassi S, Shephard RJ. (2010). Relationships between power and strength of the upper and lower limb muscles and throwing velocity in male handball players. *J Strength Cond Res*. 2010;24(6):1480-7. Epub 2010/05/29 06:00. pmid:20508448
 21. Chelly MS, Hermassi S, Aouadi R, Shephard RJ. (2013). Effects of 8-week in-season plyometric training on upper and lower limb performance of elite adolescent handball players. *J Strength Cond Res*. 2014;28(5):1401-10. Epub 2013/10/24 06:00. pmid:24149768
 22. McArdle W, Katch F, Katch V. (2007). Exercise Physiology: Energy, Nutrition & Human Performance. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins
 23. Chelly MS, Fathloun M, Cherif N, Ben Amar M, Tabka Z, Van Praagh E. (2009). Effects of a back squat training program on leg power, jump, and sprint performances in junior soccer players. *J Strength Cond Res*. 2009;23(8):2241-9. Epub 2009/10/15 06:00. pmid:19826302
 24. Sassi RH, Dardouri W, Yahmed MH, Gmada N, Mahfoudhi ME, Gharbi Z. (2009). Relative and absolute reliability of a modified agility T-test and its relationship with vertical jump and straight sprint. *J Strength Cond Res*. 2009;23(6):1644-51. Epub 2009/08/14 09:00. pmid:19675502
 25. Hermassi S, Chelly MS, Tabka Z, Shephard RJ, Chamari K. (2011). Effects of 8-week in-season upper and lower limb heavy resistance training on the peak power, throwing velocity, and sprint performance of elite male handball players. *J Strength Cond Res*. 2011;25(9):2424-33. Epub 2011/08/27 06:00. pmid:21869628
 26. Behm DG, Faigenbaum AD, Falk B, Klentrou P. (2008). Canadian Society for Exercise Physiology position paper: resistance training in children and adolescents. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2008;33(3):547-61. Epub 2008/05/08 09:00. pmid:18461111
 27. Arabatzis F, Kellis E, Saez-Saez De Villarreal E. (2010). Vertical jump biomechanics after plyometric, weight lifting, and combined (weight lifting + plyometric) training. *J Strength Cond Res*. 2010;24(9):2440-8. Epub 2010/08/14 06:00. pmid:20706157
 28. Bortz J. (1999). Statistik für Sozialwissenschaftler. Berlin, Heidelberg, New York: Springer; Hartmann A, Herzog T, Drinkmann A. *Psychotherapy of bulimia nervosa: what is effective? A meta-analysis*. *J Psychosom Res*. 1992;36(2):159-67. Epub 1992/02/01 00:00. pmid:1532837
 29. de Lacey J, Brughelli M, McGuigan M, Hansen K, Samozino P, Morin JB. (2014). The effects of tapering on power-force-velocity profiling and jump performance in professional rugby league players. *J Strength Cond Res*. 2014;28(12):3567-70. Epub 2014/06/18 06:00. pmid:24936904
 30. Pritchard HJ, Barnes MJ, Stewart RJC, Keogh JW, McGuigan MR. Short-Term Training Cessation as a Method of Tapering to Improve Maximal Strength. (2018). *J Strength Cond Res*. 2018;32(2):458-65. Epub 2018/01/26 06:00. pmid:29369954
 31. Arabatzis F, Kellis E. (2011). Olympic weightlifting training causes different knee muscle-coactivation adaptations compared with traditional weight training. *J Strength Cond Res*. 2012;26(8):2192-201. Epub 2011/10/15 06:00. pmid:21997458
 32. Helland C, Hole E, Iversen E, Olsson MC, Seynnes O, Solberg PA, et al. (2017). Training Strategies to Improve Muscle Power: Is Olympic-style Weightlifting Relevant? *Med Sci Sports Exerc*. 2017;49(4):736-45. Epub 2016/11/08 06:00. pmid:27820725
 33. Rhibi F, Chtourou H, Zribic A, Ghrama H, Rebai H. (2016). Effect of the electrostimulation during the tapering period compared to the exponential taper on anaerobic performances and rating of perceived exertion. *Science & Sports*. 2016:93-100.
 34. Zaras ND, Stasinaki AN, Krase AA, Methenitis SK, Karampatsos GP, Georgiadis GV, et al. (2014). Effects of tapering with light vs. heavy loads on track and field throwing performance. *J Strength Cond Res*. 2014;28(12):3484-95. Epub 2014/06/10. pmid:24910954.
 35. Gonzalez-Badillo JJ, Izquierdo M, Gorostiaga EM. (2006). Moderate volume of high relative training intensity produces greater strength gains compared with low and high volumes in competitive weightlifters. *J Strength Cond Res*. 2006;20(1):73-81. Epub 2006/03/01 09:00. pmid:16503695
 36. Gibala MJ, MacDougall JD, Sale DG. (1994). The effects of tapering on strength performance in trained athletes. *Int J Sports Med*. 1994;15(8):492-7. Epub 1994/11/01 00:00. pmid:7890463
 37. Bosquet L, Montpetit J, Arvisais D, Mujika I. (2007). Effects of tapering on performance: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(8):1358-65. Epub 2007/09/01 09:00. pmid:17762369
 38. Kenitzer RF. (1998). Optimal taper period in female swimmers. *J Swimming Res* 1998;13:31-6.
 39. Mujika I. (2010). Intense training: the key to optimal performance before and during the taper. *Scand J Med Sci Sports*. 2010;20 Suppl 2:24-31. Epub 2010/09/25 06:00.

40. Hermassi S, van den Tillaar R, Khelifa R, Chelly MS, Chamari K. Comparison of In-Season-Specific Resistance vs. (2015). A Regular Throwing Training Program on Throwing Velocity, Anthropometry, and Power Performance in Elite Handball Players. *J Strength Cond Res.* 2015;29(8):2105-14. Epub 2015/01/30 06:00. pmid:25627646
41. Tricoli V, Lamas L, Carnevale R, Ugrinowitsch C. (2005). Short-term effects on lower-body functional power development: weightlifting vs. vertical jump training programs. *J Strength Cond Res.* 2005;19(2):433-7. Epub 2005/05/21 09:00. pmid:15903387
42. Moore EW, Hickey MS, Reiser RF. (2005). Comparison of two twelve week off-season combined training programs on entry level collegiate soccer players' performance. *J Strength Cond Res.* 2005;19(4):791-8. Epub 2005/11/17 09:00. pmid:16287374
43. Ayers JL, DeBeliso M, Sevens TG, Adams KJ. (2016). Hang cleans and hang snatches produce similar improvements in female collegiate athletes. *Biol Sport.* 2016;33(3):251-6. Epub 2016/09/08 06:00. pmid:27601779
44. Hoffman JR, Kang J. (2003). Strength changes during an in-season resistance-training program for football. *J Strength Cond Res.* 2003;17(1):109-14. Epub 2003/02/13 04:00. pmid:12580665
45. Bishop D, Edge J. (2005). The effects of a 10-day taper on repeated-sprint performance in females. *J Sci Med Sport.* 2005;8(2):200-9. Epub 2005/08/04. pmid:16075780.
46. Cavaco B, Sousa N, Dos Reis VM, Garrido N, Saavedra F, Mendes R, et al. (2014). Short-term effects of complex training on agility with the ball, speed, efficiency of crossing and shooting in youth soccer players. *J Hum Kinet.* 2014;43:105-12. Epub 2015/02/26 06:00. pmid:25713650
47. Garcia-Pinillos F, Martinez-Amat A, Hita-Contreras F, Martinez-Lopez EJ, Latorre-Roman PA. (2014). Effects of a contrast training program without external load on vertical jump, kicking speed, sprint, and agility of young soccer players. *J Strength Cond Res.* 2014;28(9):2452-60. Epub 2014/03/15 06:00. pmid:24626140

Cita Original

Hermassi S, Ghaith A, Schwesig R, Shephard RJ, Souhail Chelly M (2019) Effects of short-term resistance training and tapering on maximal strength, peak power, throwing ball velocity, and sprint performance in handball players. *PLoS ONE* 14(7): e0214827. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214827>