

Selected Papers from Impact

# Los Efectos del Entrenamiento de la Fuerza de Diez Semanas sobre la Zona de Estancamiento en los Ejercicios de Press de Pecho

## The Effects of Ten Weeks Resistance Training on Sticking Region in Chest-Press Exercises

Atle Hole Saeterbakken<sup>1</sup>, Vidar Andersen<sup>1</sup>, Roland Van Den Tillaar<sup>2</sup>, Florian Joly<sup>3</sup>, Nicolay Stien<sup>1</sup>, Helene Pedersen<sup>1</sup>, Matthew Peter Shaw<sup>1</sup> y Tom Erik Jorung Solstad<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Education, Arts and Sports, Western Norway University of Applied Sciences, Sogndal, Norway

<sup>2</sup>Department of Sport Science and Physical Education, Nord University, Levanger, Norway

### RESUMEN

El objetivo del estudio fue comparar los efectos de un entrenamiento de la fuerza de press de pecho de 10 semanas sobre las zonas del levantamiento en un ejercicio entrenado y un ejercicio no-entrenado; el press de banco con barra (PBB). Treinta y cinco hombres entrenados en fuerza con 4.2 ( $\pm 2.3$ ) años de experiencia de entrenamiento de la fuerza fueron reclutados para el estudio. Los participantes fueron aleatorizados para asistir a un programa de fuerza, realizando el press de pecho, dos veces por semana usando ya sea una máquina Smith, mancuernas o recostado en una pelota suiza usando una barra de pesas. Un test máximo de seis repeticiones (6MR) fue dirigido pre- y post-entrenamiento en el ejercicio entrenado de press de pecho y en el PBB no-entrenado para examinar la velocidad del levantamiento, el desplazamiento de la carga y el tiempo de las zonas de pre-estancamiento, estancamiento y post-estancamiento. Adicionalmente, la actividad muscular en el pectoral mayor, tríceps braquial, bíceps braquial y deltoides anterior fue examinada. En el post-test, todos los tres grupos del press de pecho disminuyeron la velocidad del levantamiento y aumentaron el tiempo para alcanzar la zona de estancamiento y la zona post-estancamiento. Independiente del tipo de ejercicio de press de pecho entrenado, ninguna diferencia se observó en el desplazamiento vertical o en la actividad muscular para las tres zonas del levantamiento. En general, cambios similares en las cinemáticas en el ejercicio entrenado y aquellos observados en el PBB, fueron vistos para el total de los tres grupos. Esto indica que ninguno de los tres ejercicios del press de pecho (pelota suiza, máquina Smith o mancuernas) fue específico con respecto a las zonas de levantamiento pero cambió de sitio una transferencia hacia el PBB no-entrenado. Sin embargo, la fuerza mejorada alteró la zona de estancamiento entre los hombres entrenados en fuerza.

**Palabras Clave:** Fuerza muscular, estancamiento, entrenamiento, Press de pecho

## ABSTRACT

---

The aim of the study was to compare the effects of a 10-week chest-press resistance training on lifting regions in a trained exercise and a non-trained exercise; the barbell bench press (BBP). Thirty-five resistance trained men with  $4.2 (\pm 2.3)$  years of resistance training experience were recruited. The participants were randomized to attend a resistance program, performing the chest-press, twice per week using either, Smith machine, dumbbells or laying on Swiss ball using a barbell. A six-repetitions maximum (6RM) test was conducted pre- and post-training in the trained chest-press exercise and non-trained BBP to examine lifting velocity, load displacement and the time of the pre-sticking, sticking and post-sticking regions. Additionally, the muscle activity in pectoralis major, triceps brachii, biceps brachii and deltoid anterior was examined. In the post-test, all three chest-press groups decreased lifting velocity and increased the time to reach the sticking- and post-sticking region. Independent of the type of chest-press exercise trained, no differences were observed in vertical displacement or in the muscle activity for the three lifting regions. In general, similar changes in kinematics in trained exercise and those observed in the BBP were observed for all three groups. This indicates that none of the three chest-press exercises (Swiss ball, Smith machine or dumbbells) were specific regarding the lifting regions but displaced a transferability towards the non-trained BBP. However, improved strength altered the sticking region among resistance trained men.

**Keywords:** Muscle strength, stagnation, training, chest-press

## INTRODUCCIÓN

---

El press de banco con barra (PBB) es uno de los ejercicios más utilizados para mejorar la fuerza en la parte superior del cuerpo. El rendimiento del PBB se mide como la carga máxima que un atleta puede bajar hasta el pecho y presionar hacia arriba hasta que los codos estén completamente extendidos. Además de ser una competencia independiente, el PBB es uno de los tres ejercicios del *Powerlifting*. Sin embargo, los practicantes del press de banco utilizan varios ejercicios de press de pecho en sus rutinas de entrenamiento.

Los ejercicios de press de pecho más utilizados incluyen mancuernas y máquinas de entrenamiento. Últimamente, las superficies inestables también se han utilizado como ejercicios complementarios del PBB. El rendimiento del PBB se ha examinado en varios estudios [1-3] y la causa del fallo o estancamiento ha ganado un interés creciente en las últimas décadas [4-6].

En el PBB, se ha identificado una región del levantamiento en la que los sujetos pueden producir menos fuerza (es decir, lo que resulta en una velocidad reducida de la barra) en comparación con otras regiones y se la ha denominado zona de estancamiento [5,7-9]. La zona de estancamiento aparece durante cargas máximas o casi máximas levantadas en el movimiento ascendente [5, 6]. Aún así, se sabe poco sobre las causas de esta reducción en la generación de fuerza o si el entrenamiento de la fuerza puede cambiar la cinemática del PBB. Por ejemplo, Elliott y cols. [7] no demostraron un impulso neural reducido para los motores primarios en la zona de estancamiento. Además, Tillaar y Ettema [5] mostraron un patrón de activación de secuencia pico en la zona de estancamiento, mientras que el pectoral mayor y el deltoides anterior alcanzaron su activación máxima alrededor del punto de estancamiento (velocidad ascendente más baja de la barra) [5]. No obstante, la mayoría de los hallazgos actuales han demostrado una actividad muscular similar en los motores primarios al comparar las zonas de levantamiento [4,5,10]. Según el conocimiento de los autores, ningún estudio previo ha examinado la actividad muscular y las zonas de levantamiento en el PBB después de una intervención de entrenamiento, pero un estudio examinó la velocidad de levantamiento en 1MR después de una intervención de seis semanas [11]. Los autores demostraron una mejora del 9,3% en la fuerza de 1MR en el PBB, pero sólo un cambio de 0,02 m/seg en la velocidad de elevación que fue independiente de la fuerza relativa [11].

Varios estudios han sugerido que una mala posición de la fuerza mecánica de los motores primarios en la zona de estancamiento reduce la capacidad de generar fuerza [6-8]. Sin embargo, cuando se comparan los intentos exitosos y no exitosos en el press de banco, sólo la mitad de los fallos ocurren en la zona de estancamiento [4]. Además, Elliott y cols. [7] no demostraron ningún aumento en el brazo del momento del hombro y del codo en la zona de estancamiento. También se ha utilizado la potenciación decreciente disminuida causada por los componentes elásticos para explicar la zona de estancamiento. Por ejemplo, Tillaar y cols. [9] examinaron la contracción isométrica máxima (sin potencial decreciente) en 12 posiciones diferentes en el PBB. Ellos demostraron una menor producción de fuerza en la zona de estancamiento asociada con una actividad electromiográfica (EMG) similar de los motores primarios [9]. También se ha observado una

velocidad de barra reducida similar al comparar el PBB, donde la fase ascendente comenzaba inmediatamente después de la fase descendente (potencial decreciente), en comparación con sólo realizar la fase ascendente (sin potencial decreciente) [12]. Ambos hallazgos apoyan la especulación de que la mala posición de la fuerza mecánica es la causa de la zona de estancamiento. La zona de estancamiento también se ha demostrado en ejercicios de press de pecho con diferentes requisitos de estabilidad (por ejemplo, máquina Smith, PBB y mancuernas) [10]. Los diferentes requisitos de estabilidad (es decir, máquina Smith < barra < mancuernas) dieron como resultado zonas de estancamiento más largas, pero una activación similar en el pectoral mayor.

A pesar del creciente interés en la zona de estancamiento, se sabe poco sobre los cambios en esa zona después de un período de entrenamiento de la fuerza o si estos posibles cambios en la cinemática son específicos del ejercicio de press de pecho entrenado o se transfieren a otros ejercicios de press de pecho. (es decir, el PBB). Sin embargo, varios estudios han demostrado una mejora en la fuerza y la potencia de la parte superior del cuerpo después de realizar un entrenamiento de press de banco utilizando sólo un ROM limitado [13-15]. Ninguno de estos estudios examinó la zona de estancamiento en el press de pecho, sino que examinaron la producción de potencia, la fuerza isométrica y la fuerza máxima después de entrenar el press de banco con diferentes rangos de movimiento. Sin embargo, el entrenamiento en un rango de movimiento limitado (ROM) que exige una producción de fuerza máxima (a menudo denominado principio de acentuación) ha demostrado ser favorable para generar potencia y fuerza en estos ROM en comparación con el entrenamiento de ROM completo en el PBB [13]. Las demandas máximas de producción de fuerza en el PBB están más allá de la zona de estancamiento en el PBB [5,9,12] y podría ser un argumento para utilizar la zona de post-estancamiento para generar la fuerza máxima en el PBB. En consecuencia, el conocimiento de la zona de estancamiento después de un período de entrenamiento, pero también los posibles cambios en la cinemática en el ejercicio de press de pecho entrenado y no entrenado, puede ayudar a los entrenadores y atletas a diseñar mejores programas de press de pecho.

Además, el uso de diferentes ejercicios de press de pecho con diferentes requisitos de estabilidad, puede estresar el sistema neuromuscular de manera diferente. Anteriormente se había especulado que la inestabilidad en el entrenamiento de la fuerza puede favorecer la producción de fuerza en ejercicios más estables [16,17]. Por ejemplo, el press de pecho con mancuernas en un banco representará cargas inestables realizadas sobre una superficie estable, mientras que el press con barra sobre una pelota suiza representará una superficie inestable con una carga relativamente estable [18]. Por el contrario, el press de banco en una máquina Smith representa una superficie estable y una carga estable que puede favorecer la producción de fuerza [19,20]. Por lo tanto, y según el conocimiento de los autores, ningún estudio previo ha examinado los posibles cambios en la zona de estancamiento después de asistir a una intervención de entrenamiento en ejercicios de press de pecho. El objetivo del presente estudio fue doble: 1) examinar posibles cambios en las zonas de estancamiento después de un entrenamiento de press de pecho de 10 semanas usando una máquina Smith, mancuernas o press de pecho con barra sobre una pelota suiza y, 2) para examinar si estos posibles cambios en la cinemática en el ejercicio entrenado se transfirieron al ejercicio de press de banco con barra no entrenado. Hicimos la hipótesis de cambios en la velocidad más baja de la barra y una zona de estancamiento más duradera en el press de pecho entrenado, pero una cinemática similar en el press de banco con barra no entrenado.

## MÉTODOS

### Diseño

Para comparar los efectos de diez semanas de entrenamiento de diferentes ejercicios de press de pecho en la zona de estancamiento en el press de banco, todos los participantes fueron asignados al azar a uno de los tres grupos de press de pecho: press de pecho con una máquina Smith, press de pecho con mancuernas y press de pecho con barra en una pelota suiza. Los participantes entrenaron su ejercicio seleccionado dos veces por semana durante un período de 10 semanas. Antes y después de la intervención, los participantes fueron evaluados en seis repeticiones máxima (6MR), la actividad electromiográfica de los motores primarios (pectoral mayor, deltoides anterior, tríceps braquial y bíceps braquial) y la cinemática (velocidad, desplazamiento de la carga y tiempo de aparición de las zonas de pre-estancamiento, estancamiento y post-estancamiento) en los ejercicios entrenados de press de pecho y el PBB tradicional. Todos los participantes entrenaban el PBB semanalmente antes de la intervención. Sin embargo, durante la intervención, ninguno de los participantes entrenó el PBB que se definió como un ejercicio neutral.

### Participantes

Treinta y cinco hombres entrenados en resistencia con un mínimo de dos años de experiencia en entrenamiento de la fuerza fueron reclutados mediante redes sociales, comunicación personal, folletos y presentaciones del proyecto entre los estudiantes del campus de Sogndal, en Noruega. Para ser incluidos, los participantes debían ser hombres, libres de dolor

que pudiera impedir un esfuerzo máximo, poder levantar al menos su propio peso corporal en 1MR en el PBB y entrenar el PBB semanalmente en su programa regular seis meses antes del inicio de la intervención. Además, los participantes debían realizar los cuatro ejercicios de press de pecho con consistencia y buena técnica como se describe más adelante. Si alguno de los participantes tenía dolor que le impedía realizar un esfuerzo máximo, no podía levantar su peso corporal en 1MR en el PBB o no entrenaba el PBB semanalmente durante los últimos seis meses, era excluido de participar. Ninguno de los participantes era levantador de pesas o levantador de pesas competitivo. Los participantes (edad:  $22,66 \pm 2,06$  años, altura:  $1,80 \pm 0,06$  m, peso:  $78,62 \pm 7,05$  kg, ver Tabla 1) tenían  $4,15 \pm 2,24$  años de experiencia en entrenamiento de la fuerza con una fuerza relativa de 6MR (cargas de 6MR/peso corporal) de  $0,97$  en el PBB.

**Tabla 1.** Características de los sujetos.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235555.t001>

| Training group         | Height (m)      | Age (years)    | Body mass (kg) | 6RM strength bench presses (kg) |
|------------------------|-----------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| Smith machine (n = 12) | $1.82 \pm 0.06$ | $22.4 \pm 1.6$ | $78.6 \pm 6.5$ | $72.7 \pm 9.5$                  |
| Swiss ball (n = 12)    | $1.79 \pm 0.06$ | $23.3 \pm 2.1$ | $78.4 \pm 7.0$ | $80.4 \pm 19.9$                 |
| Dumbbells (n = 11)     | $1.80 \pm 0.06$ | $22.2 \pm 2.6$ | $78.6 \pm 8.0$ | $76.7 \pm 10.6$                 |

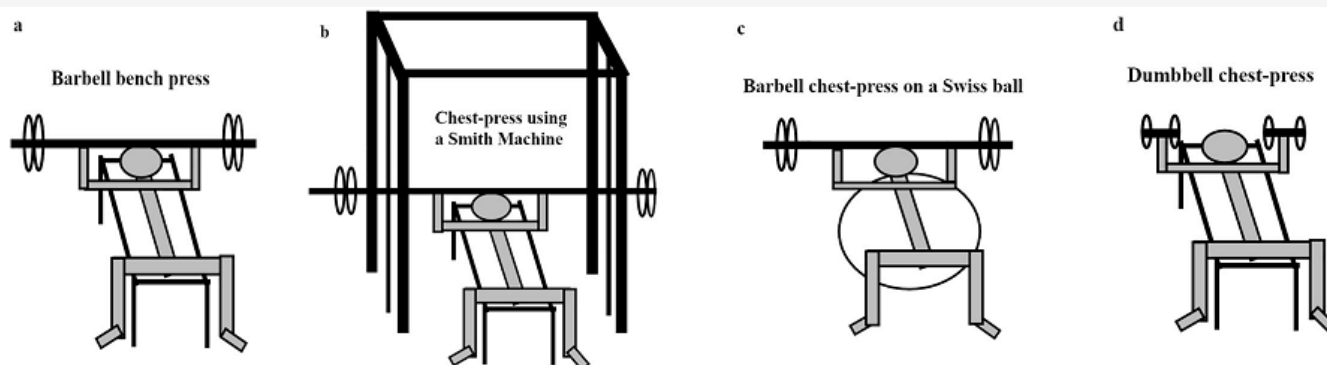
## Declaración de Ética

Todos los participantes fueron informados oralmente y por escrito de los procedimientos del estudio y los posibles riesgos. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de los participantes antes de su inclusión en el estudio. El estudio fue aprobado por los datos del Centro Noruego de Investigación y se ajustaba a la Declaración de Helsinki (2013). El estudio se llevó a cabo de acuerdo con las directivas de la Declaración de Helsinki, leyes y reglamentos nacionales e internacionales [21].

## Procedimientos

### Evaluación.

Después de dos sesiones de familiarización (separadas por 2-5 días), se determinó el test de 6MR en los cuatro ejercicios de pecho (press de banco tradicional con barra, press de pecho con barra sobre una pelota suiza, press de pecho con mancuernas y press de pecho con una máquina Smith; Fig 1) (pre-test). Al cambiar de ejercicio, se realizaron 2-3 repeticiones con cargas no agotadoras (aproximadamente el 50% de las cargas de 6MR) para familiarizarse con el nuevo ejercicio. El orden fue aleatorio y compensado, pero fue idéntico en el pre- y post-test. Todos los procedimientos de prueba en los ejercicios se han descrito en estudios previos [3,10,22]. La barra (ejercicios de peso libre, pelota suiza y máquina Smith) tenía que descender y tocar ligeramente el pecho antes de levantarla hasta que los codos estuvieran extendidos. Al probar el ejercicio con mancuernas, se colocó una banda elástica a través de las mancuernas, que tenían que tocar el pecho. El ancho del agarre con la barra era seleccionado por uno mismo, pero fue idéntico en los tres ejercicios con barra (medido y controlado antes de cada ejercicio y tiempo de evaluación).



**Figura 1.** Los cuatro ejercicios de press de pecho: a; press de banco tradicional con barra, b; press de pecho usando una máquina Smith, c; press de pecho sobre una pelota suiza y d; press de pecho con mancuernas.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235555.g001>

La entrada en calor consistió en 20, 10 y 8 repeticiones utilizando el 20%, 50% y 70% de su 6MR autoestimada en press de banco tradicional, respectivamente. Después de la primera sesión, las cargas de 6MR logradas por los participantes se utilizaron para determinar la carga de calentamiento en el pre-test. En las sesiones de familiarización y antes de los pre- y post-tests, se utilizó el tradicional press de banco con barra durante la entrada en calor.

### Entrenamiento.

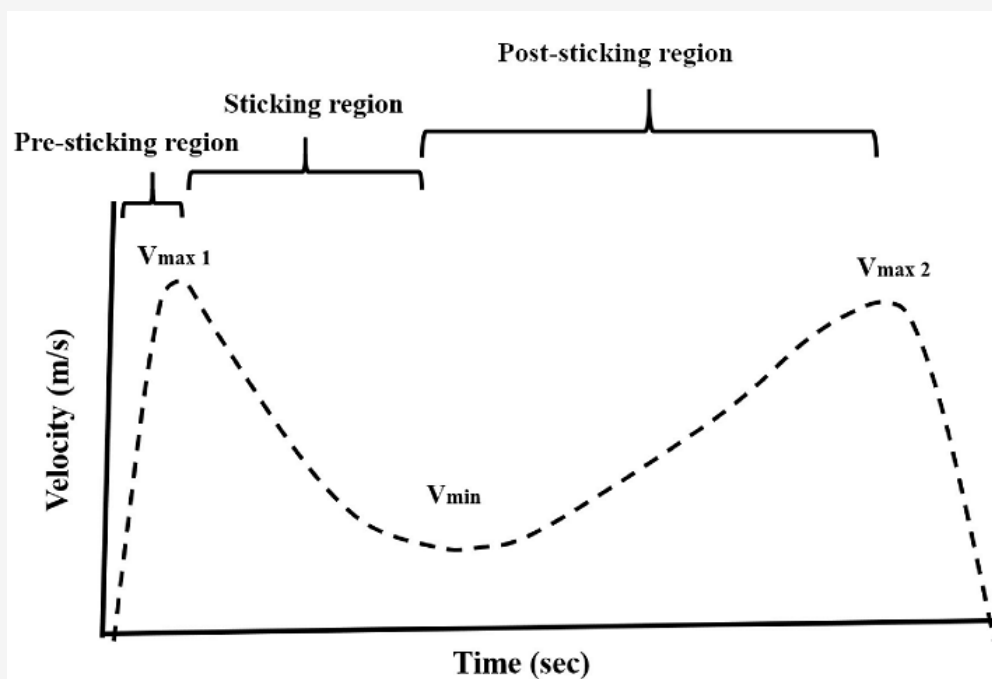
Después del pre-test, los participantes fueron asignados al azar, por sorteo, a uno de los tres grupos de entrenamiento (pelota suiza, mancuernas o máquina Smith). El ejercicio asignado se utilizó en los procedimientos de calentamiento durante las sesiones de entrenamiento. Todos los participantes entrenaron dos veces por semana durante un período de 10 semanas. Cada sesión estuvo separada por al menos 48 horas. Durante el período de intervención, a los participantes no se les permitió entrenar ejercicios dirigidos a los principales motores del press de banco (es decir, pectoral, tríceps y deltoides). La carga de entrenamiento era aproximadamente el 85% de 1MR y se realizaron seis repeticiones para cuatro series. Si el participante podía realizar las seis repeticiones en la cuarta serie, la carga se incrementaba en la siguiente sesión en 2.5-5.0 kg. Dos responsables de las pruebas supervisaron los tests y el entrenamiento, animaron a los participantes y garantizaron la correcta ejecución de los ejercicios.

### Mediciones.

Para examinar la cinemática (tiempo, velocidad y desplazamiento vertical) durante los levantamientos de 6MR, se utilizó un encoder lineal ET-Enc-02 (Ergotest Innovation AS, Porsgrunn, Noruega). El encoder se adjuntó a la barra o mancuerna y se colocó debajo de las cargas. El tiempo se calculó a partir del cambio desde la fase descendente/fase ascendente hasta las zonas de pre-estancamiento, estancamiento y post-estancamiento. El encoder tenía una resolución de 0,019 mm y una frecuencia de muestreo de 200 Hz [23].

Por lo general, la repetición final está muy cerca de la fatiga y difiere demasiado de las otras repeticiones [6, 24]. Por tanto, en los análisis sólo se utilizó el movimiento ascendente de la quinta repetición.

Usando el software Muscledab V8.10 (Ergotest Innovation AS, Porsgrunn, Noruega), se identificaron las zonas de pre-estancamiento, estancamiento y post-estancamiento [9,24,25] (ver Fig 2). La zona de pre-estancamiento se identificó como la posición más baja de la barra (cambio de la fase descendente a la ascendente) hasta la primera velocidad máxima ( $V_{m\acute{a}x1}$ ). La zona de estancamiento se identificó como la zona entre la primera velocidad máxima ( $V_{m\acute{a}x1}$ ) y la velocidad de elevación más baja ( $V_{min}$ ). Por último, la zona de post-estancamiento era la zona entre la velocidad de elevación más baja ( $V_{min}$ ) y la segunda velocidad máxima ( $V_{m\acute{a}x2}$ ). Para cada una de las tres zonas, la velocidad de la barra, el desplazamiento vertical de la barra y el tiempo desde la posición más baja de la barra (es decir, el punto de inflexión de la fase descendente a la ascendente) se identificaron y se utilizaron en los análisis.



**Figura 2.** Un ejemplo típico de la zona de estancamiento en el press de banco con barra.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235555.g002>

Se sincronizó un sistema de registro EMG comercial (Musclelab 4020e, Ergotest Innovation AS, Porsgrunn, Noruega) con un encoder lineal para medir la actividad muscular media del pectoral mayor, deltoides anterior, bíceps braquial y tríceps braquial de las zonas en el PBB. Antes de colocar los electrodos autoadhesivos (electrodos circulares sEMG de plata Dri-stick AE-131, NeuroDyne Medical, Cambridge, MA, EE. UU.), la piel se afeitó, raspó y lavó con alcohol de acuerdo con estudios y recomendaciones previas [26]. Los electrodos tenían un diámetro de contacto de 11 mm con una distancia de centro a centro de 20 mm y se colocaron en la dirección de la fibra muscular utilizando puntos de referencia anatómicos, de acuerdo con las recomendaciones del SENIAM y de estudios previos [22,26,27]. La señal EMG se amplificó y filtró utilizando un preamplificador. El preamplificador tenía una tasa de rechazo de modo común de 100 db. A continuación, la señal EMG sin procesar se filtró en paso de banda (filtro *Butterworth* de cuarto orden) con una frecuencia de corte de 8 a 600 Hz. La señal EMG fue convertida a raíz cuadrada media (RMS) utilizando una red de circuitos de hardware con una constante promedio de 100 ms (error total  $\pm 0,5\%$ ) y una respuesta de frecuencia de 0 a 600 kHz. Finalmente, la señal convertida a RMS se volvió a muestrear a una velocidad de 100 Hz utilizando un convertidor de analógico a digital de 16 bits (AD637). Los valores de RMS se normalizaron utilizando un press de banco con barra isométrico con un ángulo de 90° en las articulaciones del hombro y del codo [22]. Se instruyó a los participantes para que realizaran dos contracciones voluntarias máximas (MVC) que duraron cinco segundos, por lo que se utilizó el intento con los mayores valores de RMS (durante un período de tres segundos). Cada MVC fue separada por 1-2 minutos.

## Estadística.

Todos los datos se examinaron usando SPSS (versión 25.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, EE. UU.). Examinar la cinemática (tiempo, desplazamiento vertical y velocidad) y la actividad EMG (pectoral mayor, deltoides anterior, bíceps braquial y tríceps braquial) en los ejercicios entrenados de press de pecho y el PBB después de un programa de entrenamiento de pecho de 10 semanas, una sesión de dos cómo se utilizó el análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA) [ejercicio (ejercicio de entrenamiento, PBB)] x [tiempo (pre-, post-)] en cada una de las tres zonas del levantamiento (zona pre-, estancamiento y post-estancamiento) para cada grupo de entrenamiento. Si se detectaban interacciones o efectos principales, se utilizaba la corrección *post-hoc* de Bonferroni para identificar dónde estaban las diferencias. Las comparaciones entre las tres zonas o entre los tres grupos de entrenamiento no se analizaron, ya que las diferencias están bien exploradas [5,9,10,25] y el objetivo de este estudio fue examinar posibles cambios específicos en la zona de estancamiento en el ejercicio entrenado y la transferencia al PBB después del entrenamiento de press de pecho. Para examinar las posibles diferencias de la línea de base en los datos antropométricos, la experiencia del entrenamiento de la fuerza o la fuerza de 6MR entre los grupos, se utilizó un ANOVA de una vía con corrección *post-hoc* de Bonferroni. Se utilizaron *t-tests* dependientes para examinar la mejora del test de 6MR en el ejercicio de press de pecho entrenado y del PBB. La significación estadística se aceptó en  $p < 0,05$ . Todos los resultados se presentan como media  $\pm$  SD.

## Resultados

En el pre-test, no hubo diferencias significativas en las medidas antropométricas, experiencia del entrenamiento de la fuerza o la fuerza de 6MR entre los grupos ( $F = 0.684-1.118$ ,  $\eta^2 = 0.653-0.807$  y  $p = 0.220-1.000$ ). Todas las cargas de 6MR aumentaron en los ejercicios entrenados (es decir, máquina Smith, pelota suiza y mancuernas) así como en el PBB. Todos los detalles se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Las mejoras de 6MR en los ejercicios de press de pecho.

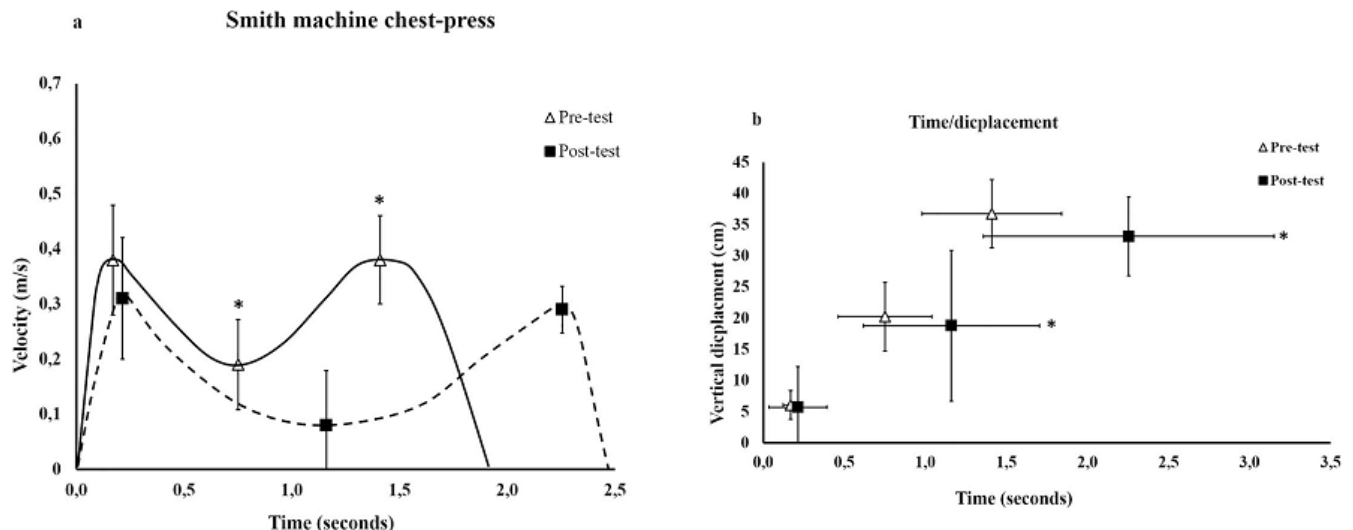
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235555.t002>

| Training group | Exercise            | Pre-test (kg) | Post-test (kg) | Improvement (%) | p-values |
|----------------|---------------------|---------------|----------------|-----------------|----------|
| Smith machine  | Smith machine       | 68.8 ± 8.7    | 84.0 ± 8.8     | 22.7 ± 8.3      | < 0.01   |
|                | Barbell bench press | 71.0 ± 9.5    | 82.3 ± 7.0     | 17.0 ± 11.3     | < 0.01   |
| Swiss ball     | Swiss ball          | 73.1 ± 18.1   | 95.6 ± 20.9    | 32.5 ± 15.8     | < 0.01   |
|                | Barbell bench press | 78.3 ± 20.3   | 86.3 ± 18.3    | 11.5 ± 7.2      | < 0.01   |
| Dumbbells      | Dumbbell            | 60.8 ± 9.8    | 82.7 ± 6.0     | 38.6 ± 19.5     | < 0.01   |
|                | Barbell bench press | 75.3 ± 10.9   | 83.7 ± 11.0    | 11.6 ± 7.0      | < 0.01   |

## Cinemática

### Grupo de máquina Smith.

Para el grupo de la máquina Smith, no hubo interacción entre el tiempo de test (pre, post) y el ejercicio (máquina Smith entrenada, PBB) ( $F = 0,006-3,5$ ,  $p = 0,077-0,930$ ) en ninguna de las zonas para las variables del desplazamiento vertical de la barra, velocidad de elevación y la aparición (tiempo) de las diferentes zonas en la fase ascendente. No se observó ningún efecto principal del ejercicio ( $F = 0,14-2,7$ ,  $p = 0,110-0,720$ ) en ninguna de las zonas, pero se observó un efecto principal en el tiempo de test para las variables velocidad y tiempo ( $F = 5,3-29,4$ ,  $p < 0,001$ ), pero no para el desplazamiento vertical ( $F = 2.5-3.6$ ,  $p = 0.070-0.125$ ) en las tres zonas. Todas las pruebas *post hoc* de los cambios previos y posteriores a los tests y entre el ejercicio entrenado (máquina Smith) y el PBB, se presentan en la Tabla 3, Fig 3A y 3B y Tabla S1.



**Figura 3.** Los cambios medios  $\pm$ SD en la velocidad de la barra (a), el tiempo de levantamiento y el desplazamiento de la barra (b), antes y después del entrenamiento en el grupo de máquina Smith en el ejercicio entrenado. \* significativamente diferente al pre-test ( $p < 0.05$ ).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235555.g003>

**Tabla 3.** La cinemática (media  $\pm$ SD) antes y después del entrenamiento en press de banco con barra.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235555.t003>

| Lifting phase         | Training group |      | Vertical displacement (cm) | Time (sec)       | Velocity (m/s)    |
|-----------------------|----------------|------|----------------------------|------------------|-------------------|
| Pre- sticking region  | SM#            | Pre  | 7.92 $\pm$ 2.76            | 0.25 $\pm$ 0.15  | 0.32 $\pm$ 0.07   |
|                       | SM             | Post | 6.05 $\pm$ 2.67            | 0.17 $\pm$ 0.06  | 0.28 $\pm$ 0.08*  |
|                       | SW#            | Pre  | 6.55 $\pm$ 2.08            | 0.18 $\pm$ 0.04  | 0.33 $\pm$ 0.08   |
|                       | SW             | Post | 6.19 $\pm$ 1.92            | 0.22 $\pm$ 0.09  | 0.28 $\pm$ 0.07*  |
|                       | DB#            | Pre  | 6.90 $\pm$ 4.74            | 0.25 $\pm$ 0.18  | 0.28 $\pm$ 0.13   |
|                       | DB             | Post | 5.94 $\pm$ 4.08            | 0.26 $\pm$ 0.20  | 0.26 $\pm$ 0.09   |
| Sticking region       | SM             | Pre  | 18.27 $\pm$ 5.43           | 0.67 $\pm$ 0.19  | 0.21 $\pm$ 0.08   |
|                       | SM             | Post | 14.96 $\pm$ 6.11           | 0.94 $\pm$ 0.37  | 0.04 $\pm$ 0.11*  |
|                       | SW             | Pre  | 19.29 $\pm$ 5.99           | 0.77 $\pm$ 0.35  | 0.17 $\pm$ 0.08   |
|                       | SW             | Post | 18.18 $\pm$ 7.98           | 0.84 $\pm$ 0.48  | 0.08 $\pm$ 0.08*  |
|                       | DB             | Pre  | 17.00 $\pm$ 9.88           | 0.69 $\pm$ 0.37  | 0.16 $\pm$ 0.06   |
|                       | DB             | Post | 17.41 $\pm$ 7.96           | 1.03 $\pm$ 0.40* | 0.09 $\pm$ 0.09   |
| Post- sticking region | SM             | Pre  | 35.79 $\pm$ 3.73           | 1.31 $\pm$ 0.24  | 0.39 $\pm$ 0.08   |
|                       | SM             | Post | 32.45 $\pm$ 6.98           | 2.11 $\pm$ 0.85* | 0.33 $\pm$ 0.09*  |
|                       | SW             | Pre  | 35.67 $\pm$ 5.52           | 1.48 $\pm$ 0.37  | 0.35 $\pm$ 0.09   |
|                       | SW             | Post | 34.11 $\pm$ 6.52           | 2.15 $\pm$ 0.59* | 0.27 $\pm$ 0.09   |
|                       | DB             | Pre  | 34.36 $\pm$ 6.27           | 1.39 $\pm$ 0.27  | 0.37 $\pm$ 0.10   |
|                       | DB             | Post | 32.71 $\pm$ 5.18           | 2.10 $\pm$ 1.06  | 0.33 $\pm$ 0.07** |

\*significant differences between pre- and post training ( $p < 0.05$ ).

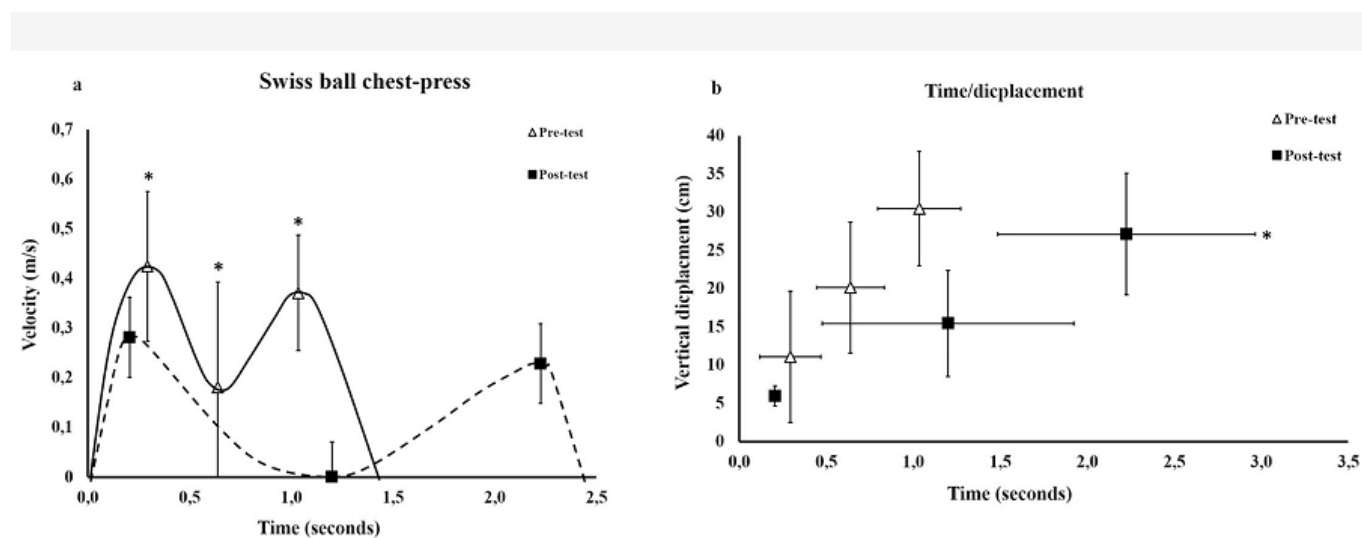
\*\* significant differences between trained exercise and barbell bench press.

#SM = Smith machine, SW = Swiss ball and DB = Dumbbell

## Grupo de pelota suiza.

Para el grupo de pelota suiza, no se observaron interacciones entre el tiempo de test (pre, post) y el ejercicio (pelota suiza entrenada, PBB) en ninguna de las tres zonas ( $F = 0.098$ -4.3,  $p = 0.051$ -0.761) para las variables el desplazamiento vertical de la barra, la velocidad de elevación y la aparición (tiempo) de las diferentes zonas en la fase ascendente. Además, no hubo un efecto principal en el ejercicio ( $F = 0.001$ -2.6,  $p = 0.125$ -0.982), pero se observó un efecto principal para el

tiempo de test ( $F = 9,1-21,7$ ,  $p < 0,001-0,007$ ). Todas las pruebas *post hoc* de los cambios previos y posteriores a las pruebas en el ejercicio entrenado (pelota suiza) y en el PBB se presentan en la Tabla 3, Fig. 4A y 4B y Tabla S1.

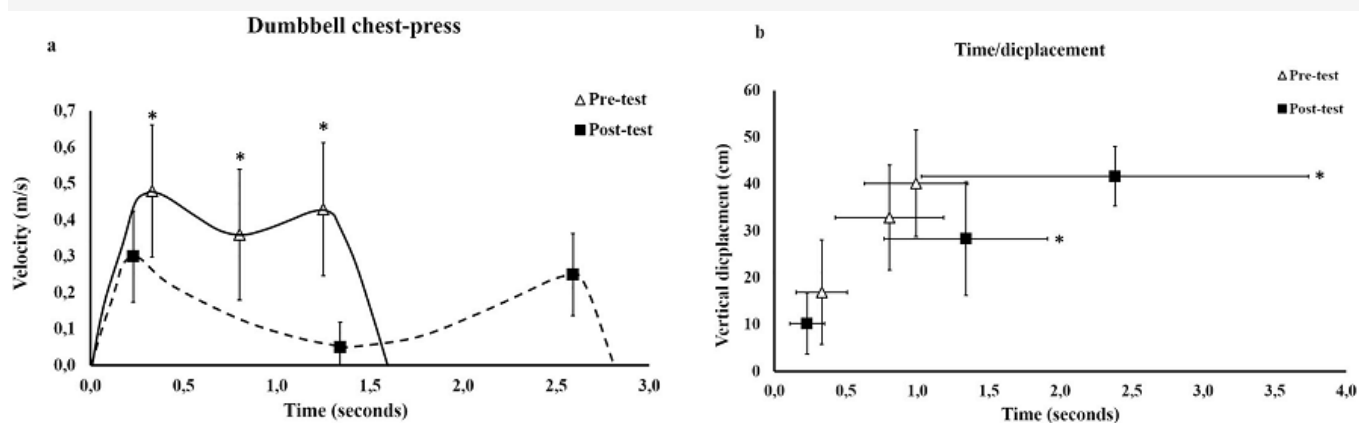


**Figura 4.** Los cambios medios  $\pm$ SD en la velocidad de la barra (a), el tiempo de levantamiento y el desplazamiento de la barra (b), antes y después del entrenamiento en el grupo de pelota suiza en el ejercicio entrenado. \* significativamente diferente al pre-test ( $p < 0.05$ ).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235555.g004>

#### Grupo con mancuernas.

Para el grupo de mancuernas, se observó una interacción entre el tiempo de test (pre, post) y el ejercicio (ejercicio con mancuernas entrenado, PBB) para la velocidad de la mancuerna en las tres zonas ( $F = 4.6-13.5$ ,  $p = 0.002-0.044$ ), pero no para el desplazamiento vertical ( $F = 0.27-2.3$ ,  $p = 0.153-0.614$ ) o el tiempo ( $F = 0.69-3.43$ ,  $p = 0.079-0.425$ ). Sin embargo, para la variable de desplazamiento vertical de las mancuernas y la aparición de las tres zonas (tiempo), se observaron los efectos principales para el tiempo de test ( $F = 14.6-23.0$ ,  $p < 0.001-0.001$ ) y el ejercicio ( $F = 5.4-11.9$ ,  $p = 0.003-0.034$ ). Todas las pruebas *post hoc* para el ejercicio entrenado (mancuernas) y el PBB de los cambios previos y posteriores a los tests, se presentan en la Tabla 3, Fig. 5A y 5B y Tabla S1.



**Figura 5.** Los cambios medios  $\pm$ SD en la velocidad de la barra (a), el tiempo de levantamiento y el desplazamiento de la barra (b), antes y después del entrenamiento en el grupo con mancuernas en el ejercicio entrenado. \* significativamente diferente al pre-test ( $p < 0.05$ ).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235555.g005>

### Activación muscular (EMG)

No se observó interacción entre el ejercicio (ejercicio entrenado, PBB) y el tiempo (pre, post) para la actividad EMG en el tríceps braquial, el bíceps braquial, el deltoides anterior y el pectoral mayor en ninguna de las tres zonas de levantamiento para ninguno de los tres grupos de entrenamiento ( $F = 0,001-3,9$ ,  $p = 0,063-0,98$ ), con la excepción de la activación del tríceps braquial en la zona posterior al estancamiento para el grupo con mancuernas ( $F = 7,5$ ,  $p = 0,013$ ). Las pruebas *post hoc* demostraron una mayor actividad del tríceps braquial en el pre-test que en el post-test en el ejercicio de press de pecho con mancuernas entrenado ( $p = 0,008$ ), pero no en el PBB ( $p = 0,75$ ). No se observaron diferencias en el tríceps braquial entre el ejercicio entrenado y el PBB en el pre-test ( $0,27$ ) o en el post-test ( $p = 0,530$ ).

Los principales efectos para el tiempo (pre, post) para los cuatro músculos en las tres zonas del levantamiento fueron  $F = 0,01-10,8$ ,  $p = 0,004-0,94$ . Las pruebas *post hoc* sólo demostraron una mayor actividad del tríceps braquial en el pre-test que en el post-test en el ejercicio entrenado ( $p = 0,008$ ) para el grupo de mancuernas en la zona posterior al estancamiento. Para los otros músculos, no se observaron diferencias en ninguna de las tres zonas para ninguno de los grupos de entrenamiento ( $p = 0,273-0,530$ ). Los cambios porcentuales en la actividad muscular entre los pre- y post-tests se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Cambios porcentuales en la actividad EMG normalizada en el ejercicio de press de pecho entrenado y press de banco con barra. Todos los valores se presentan como media  $\pm$ SD (desviación estándar).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235555.t004>

| Lifting phase        | Training group | Exercise | Pectoralis major  | Triceps brachii     | Deltoid anterior  | Biceps brachii   |
|----------------------|----------------|----------|-------------------|---------------------|-------------------|------------------|
| Pre-sticking region  | SM $\square$   | Trained  | 7.9 $\pm$ 69.2    | 5.2 $\pm$ 47.2      | -4.2 $\pm$ 32.0   | 2.2 $\pm$ 69.2   |
|                      | SM             | BBP      | 14.1 $\pm$ 55.3   | 11.7 $\pm$ 39.0     | 8.3 $\pm$ 38.6    | 25.7 $\pm$ 106.7 |
|                      | SW $\square$   | Trained  | 10.6 $\pm$ 43.2   | -13.1 $\pm$ 65.1    | -8.5 $\pm$ 22.1   | 14.1 $\pm$ 55.3  |
|                      | SW             | BBP      | 0.6 $\pm$ 80.5    | -9.0 $\pm$ 27.1     | 2.2 $\pm$ 35.1    | 5.4 $\pm$ 93.5   |
|                      | DB $\square$   | Trained  | -11.9 $\pm$ 38.6  | -33.6 $\pm$ 38.5 #  | -28.1 $\pm$ 27.1  | 17.3 $\pm$ 88.9  |
|                      | DB             | BBP      | 1.6 $\pm$ 45.0    | -18.0 $\pm$ 29.4 ** | 0.3 $\pm$ 0.1     | 15.3 $\pm$ 76.4  |
| Sticking region      | SM             | Trained  | 7.3 $\pm$ 68.4    | 12.2 $\pm$ 69.7     | 0.2 $\pm$ 37.0    | 15.1 $\pm$ 76.0  |
|                      | SM             | BBP      | 9.2 $\pm$ 59.9    | 47.3 $\pm$ 101.4    | -2.3 $\pm$ 37.2   | 5.4 $\pm$ 91.0   |
|                      | SW             | Trained  | 10.6 $\pm$ 43.1   | -25.6 $\pm$ 42.1    | -8.6 $\pm$ 22.1   | 4.0 $\pm$ 55.7   |
|                      | SW             | BBP      | 18.5 $\pm$ 69.7   | -10.0 $\pm$ 30.1    | -8.2 $\pm$ 26.0   | 30.7 $\pm$ 88.3  |
|                      | DB             | Trained  | -18.5 $\pm$ 28.1  | -43.1 $\pm$ 27.2    | -28.1 $\pm$ 27.23 | -21.1 $\pm$ 48.5 |
|                      | DB             | BBP      | 17.4 $\pm$ 8.0    | 9.0 $\pm$ 63.4      | 25.6 $\pm$ 26.5   | 1.4 $\pm$ 45.6   |
| Post-sticking region | SM             | Trained  | -19.90 $\pm$ 35.1 | -0.1 $\pm$ 37.9     | -1.4 $\pm$ 45.8   | 26.1 $\pm$ 89.2  |
|                      | SM             | BBP      | 0.6 $\pm$ 41.1    | 15.4 $\pm$ 49.4     | -5.2 $\pm$ 25.7   | 26.1 $\pm$ 94.1  |
|                      | SW             | Trained  | -5.0 $\pm$ 51.3   | 1.5 $\pm$ 0.4       | -17.5 $\pm$ 39.5  | 32.7 $\pm$ 94.1  |
|                      | SW             | BBP      | 1.7 $\pm$ 44.5    | 3.6 $\pm$ 39.0      | -9.5 $\pm$ 34.2   | 35.0 $\pm$ 97.4  |
|                      | DB             | Trained  | -30.7 $\pm$ 20.6  | -47.2 $\pm$ 31.9 *  | -24.7 $\pm$ 35.2  | -20.5 $\pm$ 44.1 |
|                      | DB             | BBP      | -0.1 $\pm$ 23.5   | 2.1 $\pm$ 1.1       | 28.4 $\pm$ 25.5   | -11.4 $\pm$ 41.9 |

\*significant differences between pre- and post-tests ( $p < 0.05$ ).

# significant differences between trained exercise and barbell bench press at pre-testing ( $p < 0.05$ ).

\*\* significant differences between trained exercise and barbell bench press at post-testing ( $p < 0.05$ ).  $\square$ SM = Smith machine, SW = Swiss ball, DB = Dumbbell and BBP = barbell bench press.

Los principales efectos del ejercicio (entrenado, PBB) para los cuatro músculos en las tres zonas del levantamiento fueron  $F = 0,006-10,9$ ,  $p = 0,004-0,944$ . Las pruebas *post hoc* sólo demostraron una mayor activación del tríceps braquial en el PBB que en el press de pecho con mancuernas para el grupo con mancuernas tanto antes como después de la prueba en la zona previa al estancamiento ( $p = 0.034$  y  $p = 0.030$ ). Para los otros músculos, no se observaron diferencias en ninguna de las tres zonas para ninguno de los grupos de entrenamiento ( $p = 0.068-1.000$ ). Los cambios porcentuales en la actividad muscular entre pre-test y post-test se presentan en la Tabla 4.

## Discusión

El principal hallazgo del presente estudio fue que la zona de estancamiento en los ejercicios de press de pecho entrenados cambió después de un período de entrenamiento de 10 semanas. Los tres grupos de entrenamiento disminuyeron la velocidad de levantamiento, pero aumentaron la duración (es decir, el tiempo) antes de la zona de estancamiento. Además, al examinar las tres zonas del levantamiento, no hubo diferencias en el desplazamiento vertical entre antes y después del entrenamiento, independientemente del ejercicio entrenado. En el post-test, no se observaron diferencias en la actividad muscular o al comparar la cinemática en el ejercicio entrenado y en el PBB. En cambio, se mostraron cambios similares en la zona de estancamiento en los ejercicios entrenados y los observados en el PBB para los tres grupos. Esto indica que ninguno de los tres ejercicios de press de pecho (máquina Smith, mancuernas o press de pecho con barra en una pelota suiza) fue específico con respecto a la cinemática del levantamiento, pero produjo una transferencia hacia el press de banco con barra no entrenado.

Todos los grupos mejoraron su 6MR en el ejercicio entrenado en  $\sim 23-39\%$ . Aún así, todos los grupos demostraron una disminución de la velocidad del levantamiento en la zona de pre-estancamiento con excepción del grupo de la máquina Smith. Sin embargo, el grupo de máquina Smith tuvo los requerimientos de estabilidad más bajos [3], lo que puede permitir la generación de una fuerza máxima en la fase ascendente en lugar de priorizar la estabilización de las articulaciones, lo que podría ocurrir con las mancuernas o recostado sobre una pelota suiza [28,29]. Se utilizaron intensidades idénticas (6MR) antes y después y, de acuerdo con las hipótesis, la velocidad en la zona de pre-estancamiento disminuyó. Se podría especular que los participantes fueron más tolerantes al levantar cargas más altas, pero no pudieron mejorar la aceleración ( $F = m \times a$ ), lo que explica la menor velocidad de levantamiento. Además, el programa de entrenamiento en el presente estudio no fue diseñado para mejorar las características explosivas, sino para mejorar la fuerza máxima. Una mayor carga de 6MR no altera necesariamente la capacidad de desarrollar la fuerza rápidamente.

Independientemente de los grupos de entrenamiento, no se observaron diferencias en el desplazamiento vertical o el tiempo en la zona de pre-estancamiento entre los pre- y post-test. Esto significa que el tiempo de pre-estancamiento y el desplazamiento de la barra parecen independientes del aumento de fuerza o de la velocidad de pre-estancamiento más baja. Aún así, una menor velocidad de levantamiento indica una menor aceleración en la fase de pre-estancamiento, lo que apoya la hipótesis de que la mejora de la fuerza de 6MR, mejora la tolerancia de levantar cargas mayores, pero no la aceleración en la zona de pre-estancamiento.

En la zona de estancamiento, la velocidad de levantamiento disminuyó para los tres grupos de entrenamiento según la hipótesis. La menor velocidad de levantamiento fue probablemente el resultado de una menor velocidad de pre-estancamiento observada en el post-test. Además, los participantes utilizaron más tiempo para llegar a la zona de estancamiento, pero no hubo diferencia en el desplazamiento vertical. Esto apoya los hallazgos previos de que la mala posición de la fuerza mecánica es la explicación más probable de la zona de estancamiento [5,7-9,30], ya que los tres grupos demostraron una zona de estancamiento en su ejercicio de press de pecho asignado y el PBB. Además, y de acuerdo con estudios previos [4,7,9,31], los participantes demostraron una zona de estancamiento mientras levantaban cargas de 6MR independientemente del ejercicio. Sin embargo, el presente estudio es el primero en demostrar una zona de estancamiento después de mejorar la fuerza de 6MR independientemente del ejercicio de press de pecho.

En la zona de post-estancamiento, se observaron hallazgos similares en los tres grupos de entrenamiento; disminución de la velocidad de levantamiento, aumento del tiempo dedicado a alcanzar la zona posterior al estancamiento y ninguna diferencia en el desplazamiento vertical después de la intervención del entrenamiento. Lo más probable es que estos resultados sean causados por los cambios observados en la zona previa y de estancamiento. Sin embargo, todos los grupos de entrenamiento demostraron un aumento en la velocidad de las cargas en la zona posterior al estancamiento donde se demostró la producción de fuerza máxima [5,9]. En otras palabras, los entusiastas del press de pecho que entrenan con  $\frac{1}{4}$ — $\frac{3}{4}$  del rango completo del movimiento [13], pueden usar los tres ejercicios de press de pecho para maximizar la generación de fuerza. Es importante destacar que la aparición de la zona posterior al estancamiento varió entre los ejercicios (~27-42 cm, ver Datos S1), lo cual hace que los entrenadores y atletas deben recordar entrenar los ejercicios de press de pecho respectivamente utilizando un ROM limitado.

Según el conocimiento de los autores, este es el primer estudio que examina los cambios en la zona de estancamiento del press de pecho después de una intervención de entrenamiento de la fuerza de 10 semanas. Los presentes hallazgos son difíciles de comparar con estudios previos, ya que sólo se han realizado estudios agudos para tratar de explicar la aparición de la zona de estancamiento en el press de banco tradicional [5,7-9,30]. De esta manera, un estudio ha demostrado diferentes extensiones de las zonas de levantamiento entre el press de banco con barra, el press de pecho con mancuernas y en una máquina Smith [10]. Independientemente de esto, el objetivo del presente estudio no fue comparar los cambios entre los grupos de entrenamiento, sino examinar los cambios en la zona de estancamiento después de entrenar un período de entrenamiento de press de pecho. Como se esperaba, y de acuerdo con los estudios previos [13,22], el presente estudio demostró una actividad EMG similar antes y después del entrenamiento en todas las zonas, tanto en el ejercicio de press de pecho entrenado como en el press de banco con barra. La única diferencia observada fue una mayor activación del tríceps braquial (tanto antes como después) en la zona anterior al estancamiento usando el PBB en comparación con el ejercicio de press de pecho con mancuernas.

La activación del tríceps braquial inferior usando mancuernas se parece más al resultado de levantar dos cargas independientes que se han probado previamente [3,10]. En las comparaciones, los principiantes en el entrenamiento de la fuerza aumentaron típicamente el impulso neural [32,33] y la capacidad para sincronizar la activación agonista-antagonista [34]. En el presente estudio, una actividad muscular similar en los pre- y post-test puede reflejarse el nivel de rendimiento de los participantes como entrenamiento de la fuerza, pero también que los tres ejercicios de press de pecho estimulan a los principales motores de manera casi idéntica. Estudios anteriores han demostrado una actividad muscular similar entre las zonas de levantamiento [4,5,10]. No obstante, estos hallazgos se vieron limitados al comparar sólo diferentes regiones de manera aguda (es decir, sin cambios previos y posteriores dentro de la misma zona). Ninguno de los participantes entrenó el PBB tradicional en la intervención, pero todos los participantes usaban el PBB en su entrenamiento de fuerza semanal (fuerza relativa de 6MR de 0.97 en el pre-test). Sin embargo, la mejora de la fuerza del 6MR en el PBB fue ~12-17%, mientras que la mejora en el ejercicio entrenado fue ~23-39%. A pesar de la diferencia en la mejora del 6MR, los dos grupos de entrenamiento con barra (máquina Smith y pelota suiza) no mostraron diferencias en la cinemática entre el ejercicio entrenado y el PBB en ninguna de las tres zonas de levantamiento en los pre- y post-test. En comparación, un estudio anterior ha demostrado una menor velocidad de elevación de 1MR en el PBB con una fuerza relativamente creciente [11]. Por lo tanto, se podría especular que los participantes no levantaron su 6MR "verdadero" en el pre-test a pesar de las dos sesiones de familiarización anteriores. Después de 10 semanas de entrenamiento, se sintieron más cómodos al levantar más peso y/o usar más tiempo en las repeticiones finales (es decir, cerca de la fatiga). La comparación del tiempo total de levantamiento de pre- y post-test respalda nuestra especulación, ya que todos los grupos de entrenamiento mostraron el doble de tiempo total de levantamiento en el post-test (Tabla S1). Por ejemplo, estudios previos han demostrado una velocidad media de levantamiento de 0,10 a 0,17 m/seg y al examinar el test de 1MR en el

press de banco utilizando levantadores de pesas [35] o hombres que entrenan la fuerza [11]. Por lo tanto, la velocidad media del levantamiento puede ser una medida importante en el press de banco al evaluar series hasta el fallo. A pesar de ello, la velocidad del levantamiento se mantuvo estable (es decir, 0.02 m/seg) después de una intervención de 6 semanas a pesar de una mejora del 9.3% en el test de 1MR en el press de banco [11]. Además, los cambios observados en los ejercicios entrenados (menor velocidad de la barra, mayor tiempo para alcanzar las zonas de levantamiento y ninguna diferencia en el desplazamiento vertical) se observaron en la zona de estancamiento y post-estancamiento. Con cambios similares en la cinemática entre el ejercicio de press de pecho entrenado y el PBB, no se observó especificidad del entrenamiento con respecto a los ejercicios de press de pecho. La especificidad del entrenamiento se ha demostrado previamente entre las formas de contracción, el patrón de movimiento, la posición de la articulación y la velocidad de la contracción [22,36-38]. La falta de especificidad demostrativa del entrenamiento se debe probablemente a que los ejercicios están estrechamente relacionados en términos de los grupos musculares involucrados, la contracción muscular y el patrón de levantamiento [37-40].

Para el grupo de mancuernas, se observaron diferencias tanto antes como después de los tests (Tabla 3). Para el pre-test, las diferencias probablemente se debieron a una menor familiarización con el levantamiento de cargas de 6MR en el press de pecho con mancuernas. Por lo general, el press de pecho con mancuernas es entrenado con un mayor número de repeticiones que las evaluadas en el entrenamiento semanal de los sujetos antes de participar en el estudio. Sin embargo, después de realizar 10 semanas de entrenamiento de 6MR con mancuernas, los participantes pudieron estar más familiarizados con el press de pecho pesado con mancuernas. Esto puede, a pesar de las obvias diferencias entre los dos ejercicios (dos mancuernas independientes frente a una barra) [2,10], resultar en cambios posteriores a la prueba similares entre los ejercicios.

Hay algunas limitaciones que deben abordarse. En primer lugar, el presente estudio sólo examinó a hombres entrenados en fuerza. Por lo tanto, los resultados no se pueden generalizar a otras poblaciones. Además, los participantes entrenaron sólo uno de los tres diferentes ejercicios de press de pecho dos veces por semana. Los efectos agudos y crónicos de estos ejercicios difieren [3,10,22] y podrían afectar potencialmente los resultados (es decir, la cinemática en el press de banco). Además, un mayor volumen de entrenamiento por semana puede resultar en un resultado diferente. Es importante destacar que ninguno de los grupos entrenó el PBB, pero todos entrenaban los ejercicios semanales antes de la intervención, lo que hizo del PBB un ejercicio neutral. Además, sólo el ejercicio de press de pecho entrenado se incluyó en los procedimientos del calentamiento. Incluir ejercicios de movilización, acondicionamiento general y un calentamiento más específico de hombros, codos, muñecas y tronco puede resultar en mejores sesiones de entrenamiento y de rendimiento. Por último, siempre existe un riesgo inherente de interferencia entre músculos vecinos utilizando mediciones EMG [41] o no colocar los electrodos en ubicaciones idénticas en el post-test [26]. Aún así, se utilizaron puntos de referencia anatómicos, siguiendo recomendaciones y procedimientos previos, además de que el mismo investigador realizara todas las colocaciones de electrodos y normalizara los datos.

En conclusión, diez semanas con entrenamiento de press de pecho resultaron en una mejora de la fuerza, una disminución de la velocidad del levantamiento y un aumento del tiempo en cada fase de levantamiento tanto en el ejercicio entrenado como en el press de banco con barra no entrenado. Se observaron cambios similares en la región de adherencia en el press de banca con barra no entrenado sin diferencias entre los ejercicios. Esto demuestra que la cinemática del levantamiento no es específica de un ejercicio de press de pecho entrenado, pero la mejora de la fuerza cambia la zona de estancamiento entre hombres entrenados en fuerza. Los autores recomiendan la velocidad de levantamiento en ejercicios de press de pecho como una medida importante al examinar los levantamientos de repetición máxima.

### Informacion adicional

Tabla S1. Cinemática en el ejercicio entrenado.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235555.s001>

### Agradecimientos

Agradecemos a los participantes por su entusiasta participación, además de Alexander Olsen, Espen Krohn-Hansen, Mats Smaamo y Eirik Nordgård Strupstad, por su participación en la recopilación de datos.

## REFERENCIAS

1. Lander JE, Bates BT, Sawhill JA, Hamill J. (1985). A comparison between free-weight and isokinetic bench pressing. *Medicine and science in sports and exercise*. 1985;17(3). :344-53. Epub 1985/06/01. pmid:4021780.

2. Welsch EA, Bird M, Mayhew JL. (2005). Electromyographic activity of the pectoralis major and anterior deltoid muscles during three upper-body lifts. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2005;19(2). :449-52. Epub 2005/05/21. pmid:15903389.
3. Saeterbakken AH, van den Tillaar R, Fimland MS. (2011). A comparison of muscle activity and 1-RM strength of three chest-press exercises with different stability requirements. *Journal of sports sciences*. 2011;29(5). :533-8. Epub 2011/01/13. pmid:21225489.
4. van den Tillaar R, Ettema G. (2009). A comparison of successful and unsuccessful attempts in maximal bench pressing. *Medicine and science in sports and exercise*. 2009;41(11). :2056-63. Epub 2009/10/09. pmid:19812510.
5. van den Tillaar R, Ettema G. (2010). The "sticking period" in a maximum bench press. *Journal of sports sciences*. 2010;28(5). :529-35. Epub 2010/04/08. pmid:20373201.
6. van den Tillaar R, Saeterbakken AH. (2013). Fatigue effects upon sticking region and electromyography in a six-repetition maximum bench press. *Journal of sports sciences*. 2013;31(16). :1823-30. Epub 2013/07/25. pmid:23879709.
7. Elliott BC, Wilson GJ, Kerr GK. (1989). A biomechanical analysis of the sticking region in the bench press. *Medicine and science in sports and exercise*. 1989;21(4). :450-62. Epub 1989/08/01. pmid:2779404.
8. Madsen N, McLaughlin T. (1984). Kinematic factors influencing performance and injury risk in the bench press exercise. *Medicine and science in sports and exercise*. 1984;16(4). :376-81. Epub 1984/08/01. pmid:6493018.
9. Tillaar R, Saeterbakken AH, Ettema G. (2012). Is the occurrence of the sticking region the result of diminishing potentiation in bench press? *Journal of sports sciences*. 2012;30(6). :591-9. Epub 2012/02/07. pmid:22304656.
10. Tillaar RV, Saeterbakken A. (2012). The sticking region in three chest-press exercises with increasing degrees of freedom. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2012;26(11). :2962-9. Epub 2011/12/14. pmid:22158100.
11. Gonzalez-Badillo JJ, Sanchez-Medina L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International journal of sports medicine*. 2010;31(5). :347-52. Epub 2010/02/25. pmid:20180176.
12. van den Tillaar R, Ettema G. (2013). A comparison of muscle activity in concentric and counter movement maximum bench press. *J Hum Kinet*. 2013;38:63-71. Epub 2013/11/16. pmid:24235985; PubMed Central PMCID: PMC3827767.
13. Clark RA, Humphries B, Hohmann E, Bryant AL. (2011). The influence of variable range of motion training on neuromuscular performance and control of external loads. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2011;25(3). :704-11. Epub 2010/06/29. pmid:20581702.
14. Massey CD, Vincent J, Maneval M, Moore M, Johnson JT. (2004). An analysis of full range of motion vs. partial range of motion training in the development of strength in untrained men. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2004;18(3). :518-21. Epub 2004/08/24. pmid:15320644.
15. Sakamoto A, Sinclair PJ. (2012). Muscle activations under varying lifting speeds and intensities during bench press. *European journal of applied physiology*. 2012;112(3). :1015-25. Epub 2011/07/08. pmid:21735215.
16. Saeterbakken AH, Olsen A, Behm DG, Bardstu HB, Andersen V. (2019). The short- and long-term effects of resistance training with different stability requirements. *PLoS One*. 2019;14(4). :e0214302. Epub 2019/04/02. pmid:30934001; PubMed Central PMCID: PMC6443166.
17. Saeterbakken AH, van den Tillaar R, Seiler S. (2011). Effect of core stability training on throwing velocity in female handball players. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2011;25(3). :712-8. Epub 2010/06/29. pmid:20581697.
18. Kohler JM, Flanagan SP, Whiting WC. (2010). Muscle activation patterns while lifting stable and unstable loads on stable and unstable surfaces. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2010;24(2). :313-21. Epub 2010/01/15. pmid:20072068.
19. Anderson KG, Behm DG. (2004). Maintenance of EMG activity and loss of force output with instability. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2004;18(3). :637-40. Epub 2004/08/24. pmid:15320684.
20. Saeterbakken AH, Fimland MS. (2013). Electromyographic activity and 6RM strength in bench press on stable and unstable surfaces. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2013;27(4). :1101-7. Epub 2012/06/14. pmid:22692120.
21. Harriss DJ, Macsween A, Atkinson G. (2018). Standards for Ethics in Sport and Exercise Science Research: 2018 Update. *International journal of sports medicine*. 2017;38(14). :1126-31. Epub 2017/12/20. pmid:29258155.
22. Saeterbakken AH, Andersen V, Behm DG, Krohn-Hansen EK, Smaamo M, Fimland MS. (2016). Resistance-training exercises with different stability requirements: time course of task specificity. *European journal of applied physiology*. 2016;116(11-12). :2247-56. Epub 2016/09/28. pmid:27671996.
23. Bosquet L, Porta-Benache J, Blais J. (2010). Validity of a Commercial Linear Encoder to Estimate Bench Press 1 RM from the Force-Velocity Relationship. *J Sports Sci Med*. 2010;9(3). :459-63. Epub 2010/01/01. pmid:24149641; PubMed Central PMCID: PMC3761713.
24. Saeterbakken AH, Andersen V, van den Tillaar R. (2016). Comparison of Kinematics and Muscle Activation in Free-Weight Back Squat With and Without Elastic Bands. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2016;30(4). :945-52. Epub 2015/09/09. pmid:26349045.
25. van den Tillaar R, Andersen V, Saeterbakken AH. (2014). The existence of a sticking region in free weight squats. *J Hum Kinet*. 2014; 42:63-71. Epub 2014/11/22. pmid:25414740; PubMed Central PMCID: PMC4234771.
26. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*. 2000;10(5). :361-74. Epub 2000/10/06. pmid:11018445.
27. Goodman CA, Pearce AJ, Nicholes CJ, Gatt BM, Fairweather IH. (2008). No difference in 1RM strength and muscle activation during the barbell chest press on a stable and unstable surface. *Journal of strength and conditioning research / National*

- Strength & Conditioning Association*. 2008;22(1). :88-94. Epub 2008/02/26. pmid:18296960.
28. Anderson K, Behm DG. (2005). Impact of instability resistance training on balance and stability. *Sports Med*. 2005;35(1). :43-53. Epub 2005/01/18.
  29. Behm DG, Anderson KG. (2006). The role of instability with resistance training. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2006;20(3). :716-22. Epub 2006/08/30. pmid:16937988.
  30. Frost DM, Cronin J, Newton RU. (2010). A biomechanical evaluation of resistance: fundamental concepts for training and sports performance. *Sports Med*. 2010;40(4). :303-26. Epub 2010/04/07. pmid:20364875.
  31. van den Tillaar R, Saeterbakken A. (2014). Effect of Fatigue Upon Performance and Electromyographic Activity in 6-RM Bench Press. *J Hum Kinet*. 2014;40:57-65. Epub 2014/07/18. pmid:25031673; PubMed Central PMCID: PMC4096084.
  32. Hakkinen K, Newton RU, Gordon SE, McCormick M, Volek JS, Nindl BC, et al. (1998). Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *The journals of gerontology Series A, Biological sciences and medical sciences*. 1998;53(6). :B415-23. Epub 1998/11/21. pmid:9823737.
  33. Folland JP, Williams AG. (2007). The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med*. 2007;37(2). :145-68. Epub 2007/01/24. pmid:17241104.
  34. Hakkinen K, Kallinen M, Izquierdo M, Jokelainen K, Lassila H, Malkia E, et al. (1998). Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *J Appl Physiol*. 1998;84(4). :1341-9. Epub 1998/05/09. pmid:9516202.
  35. Helms ER, Storey A, Cross MR, Brown SR, Lenetsky S, Ramsay H, et al. (2017). RPE and Velocity Relationships for the Back Squat, Bench Press, and Deadlift in Powerlifters. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*. 2017;31(2). :292-7. Epub 2016/06/01. pmid:27243918.
  36. Rutherford OM, Jones DA. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1986;55(1). :100-5. Epub 1986/01/01. pmid:3698983.
  37. Behm DG, Sale DG. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Med*. 1993;15(6). :374-88. Epub 1993/06/01. pmid:8341872.
  38. Thorstensson A, Hulten B, von Döbeln W, Karlsson J. (1976). Effect of strength training on enzyme activities and fibre characteristics in human skeletal muscle. *Acta physiologica Scandinavica*. 1976;96(3). :392-8. Epub 1976/03/01. pmid:179278.
  39. Augustsson J, Esko A, Thomee R, Svantesson U. (1998). Weight training of the thigh muscles using closed vs. open kinetic chain exercises: a comparison of performance enhancement. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1998;27(1). :3-8. Epub 1998/01/24. pmid:9440034.
  40. McBride JM, Larkin TR, Dayne AM, Haines TL, Kirby TJ. (2010). Effect of absolute and relative loading on muscle activity during stable and unstable squatting. *Int J Sports Physiol Perform*. 2010;5(2). :177-83. Epub 2010/07/14. pmid:20625190.
  41. Winter DA, Fuglevand AJ, Archer SE. (1994). Crosstalk in surface electromyography: Theoretical and practical estimates. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*. 1994;4(1). :15-26. Epub 1994/01/01. pmid:20870543.

## Cita Original

Saeterbakken AH, Andersen V, van den Tillaar R, Joly F, Stien N, Pedersen H, et al. (2020) The effects of ten weeks resistance training on sticking region in chest-press exercises. *PLoS ONE* 15(7): e0235555. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235555>