

# Teoría y Práctica del Entrenamiento Deportivo

Efectos del rango de movimiento en el ejercicio de Sentadilla sobre las adaptaciones neuromusculares y funcionales

***Alejandro Martínez Cava***  
***Ricardo Morán Navarro***

*Human Performance and Sports Science Laboratory*  
*University of Murcia*  
*@alejandromcava*



La **elección del rango de movimiento** más efectivo para producir adaptaciones neuromusculares específicas después de un programa de entrenamiento de fuerza ha sido un tema de debate durante las últimas décadas (Bloomquist et al., 2013; Hartmann et al., 2012; Massey, Vincent, Maneval, & Johnson, 2005; Massey et al., 2004; Rhea et al., 2016).



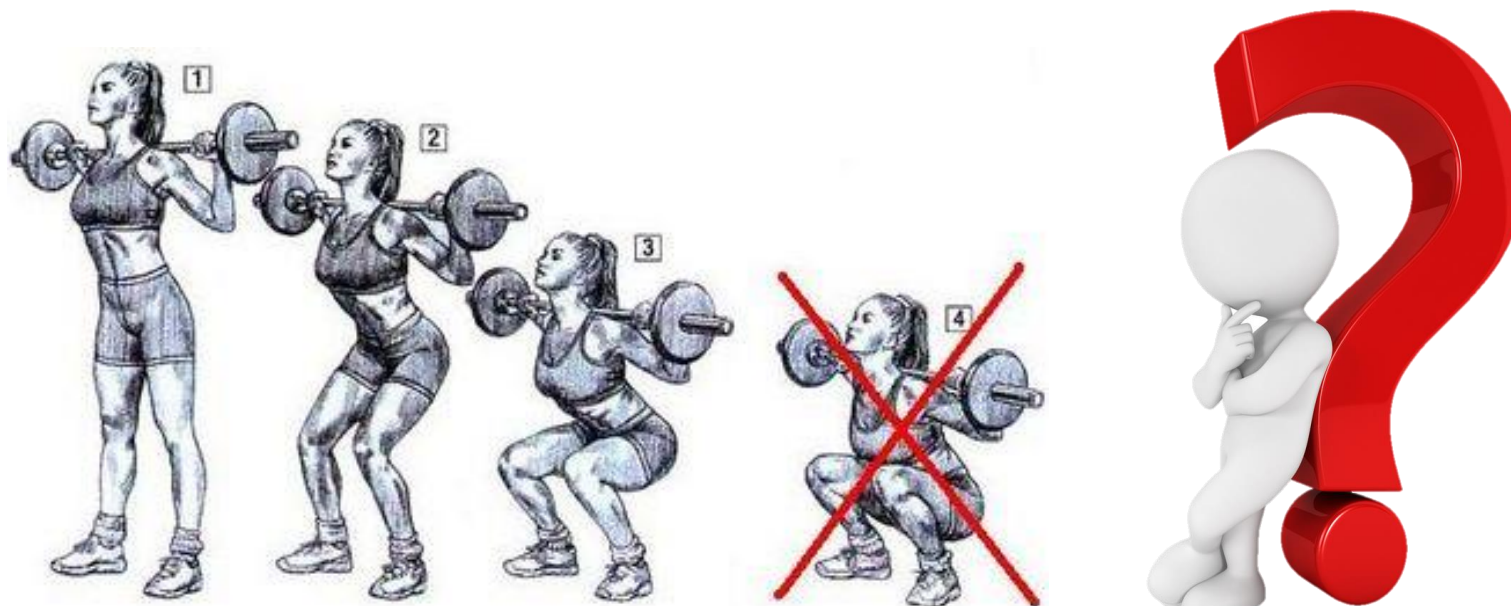
Además de los ejercicios convencionales de rango completo, algunos autores consideran beneficioso el entrenamiento en **rangos de movimiento parcial**, ya que permite **levantar cargas más altas**, **disminuye la inhibición neural**, **augmenta la fuerza producida** y **mejora la coordinación de los músculos primarios y estabilizadores** (Clark, Bryant, & Humphries, 2008; Massey et al., 2005, 2004; Mookerjee & Ratamess, 1999). Además, debido al hecho de que los **rangos más cortos** permiten **levantar más peso**, ya que evitan la conocida “sticking region” del movimiento, esta estrategia es comúnmente utilizada por los atletas de powerlifting en el entrenamiento y la competición (Garcia Ramos et al., 2018; Gomo & Van Den Tillaar, 2016).

La **sentadilla** es uno de los ejercicios de fuerza más practicados y estudiados (Escamilla et al., 2001; Hartmann et al., 2013; Pareja-Blanco et al., 2014). Del ejercicio de **ST** en rango completo surgen diferentes variaciones en función de los ángulos alcanzados en las articulaciones de la cadera, la rodilla y el tobillo en la posición inferior del ejercicio.

Existen cuatro variaciones principales:

- sentadilla profunda o completa
- sentadilla paralela
- media sentadilla
- cuarto de sentadilla

Tradicionalmente se ha recomendado **entrenar en un rango parcial** en este ejercicio  $<90^\circ$  de flexión de la rodilla (ST-M y cuarto de sentadilla) fundamentándose en el **principio de especificidad del entrenamiento** para deportes como correr o saltar (Rhea et al., 2016; Wilson, 1998; Young, Benton, Duthie, & Pryor, 2001; Zatsiorsky & Kraemer, 2006). Además, se ha sugerido que el entrenamiento a **mayores profundidades** (ST-P y ST-C) aumenta las **lesiones musculares y tendinosas**, especialmente en la rodilla (Escamilla et al., 2001).



Sin embargo, al contrario de estas creencias comunes, estudios recientes proponen que las intervenciones de entrenamiento de fuerza prolongadas que involucran **ST-P o ST-C maximizan el rendimiento** neuromuscular y funcional en principiantes (Bloomquist et al., 2013) y atletas entrenados (Hartmann et al., 2012), e incluso **minimizan el riesgo de lesiones** en los tejidos pasivos en comparación con rangos más cortos (Hartmann et al., 2013).



## OBJETIVOS

1. Conocer los efectos que el entrenamiento de fuerza prolongado en los ejercicios más habituales del tren superior e inferior a diferentes rangos de movimiento, genera sobre las adaptaciones neuromusculares del individuo: fuerza dinámica máxima absoluta, fuerza dinámica máxima relativa, así como la fuerza aplicada ante cargas bajas, medias y altas
2. Conocer los efectos que el entrenamiento de fuerza a diferentes rangos de movimiento sobre las adaptaciones funcionales del individuo: capacidad de salto, capacidad de aceleración, capacidad y potencia anaeróbica

## HIPÓTESIS

- I. El entrenamiento de fuerza con mayores rangos de movimiento produce a medio y largo plazo adaptaciones neuromusculares superiores en comparación con los rangos de movimiento inferiores.
- II. El entrenamiento de fuerza con mayores rangos de movimiento produce a medio y largo plazo adaptaciones funcionales superiores en comparación con los rangos de movimiento inferiores.

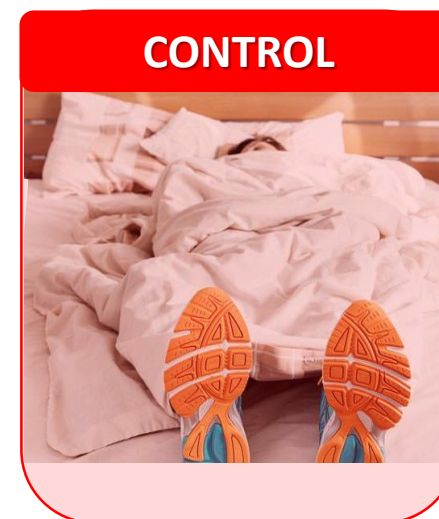


## MUESTRA

La muestra estuvo formada por **Cincuenta y tres hombres** ( $n=53$ ; edad  $23.0 \pm 4.4$  años, masa corporal  $76.0 \pm 12.8$  kg, altura  $174.0 \pm 7.4$  cm, grasa corporal  $12.1 \pm 4.9\%$ ), todos ellos tenían experiencia en el entrenamiento de fuerza por velocidad y se ofrecieron voluntarios para participar en el estudio.

Su fuerza inicial de **1 RM** fue de  $87.3 \pm 15.0$  kg y FR de  $1.17 \pm 0.24$  para ST.

Los sujetos fueron asignados aleatoriamente de forma equilibrada de acuerdo con su fuerza inicial en el rango completo de cada ejercicio a cada uno de los cuatro grupos (tres experimentales y uno control).



Los miembros del **GC** suspendieron completamente cualquier tipo de programa de entrenamiento físico.

## VARIABLES OBJETO DE ESTUDIO

### VARIABLES DEPENDIENTES

- **Fuerza dinámica máxima** (1RM), en kg y en N
- **Fuerza relativa máxima** (FR = 1RM / masa corporal)
- **Velocidad media propulsiva** (VMP) alcanzada ante las cargas comunes, en m/s
- **Potencia media propulsiva** (PMP) desarrollada ante las cargas comunes, en W
- **Altura de salto con contramovimiento**, en cm
- **Tiempo** en cubrir la distancia de carrera **0-10m, 10-20m y 0-20 m**, en s
- **Potencia media y pico del Test Wingate** de piernas, en W
- **Índice de fatiga** de los Test Wingate, en %

### CONTROL DE LAS VARIABLES EXTRAÑAS

En un estudio de estas características, las posibles variables extrañas o contaminantes que pudieran intervenir en los resultados hacen referencia a:

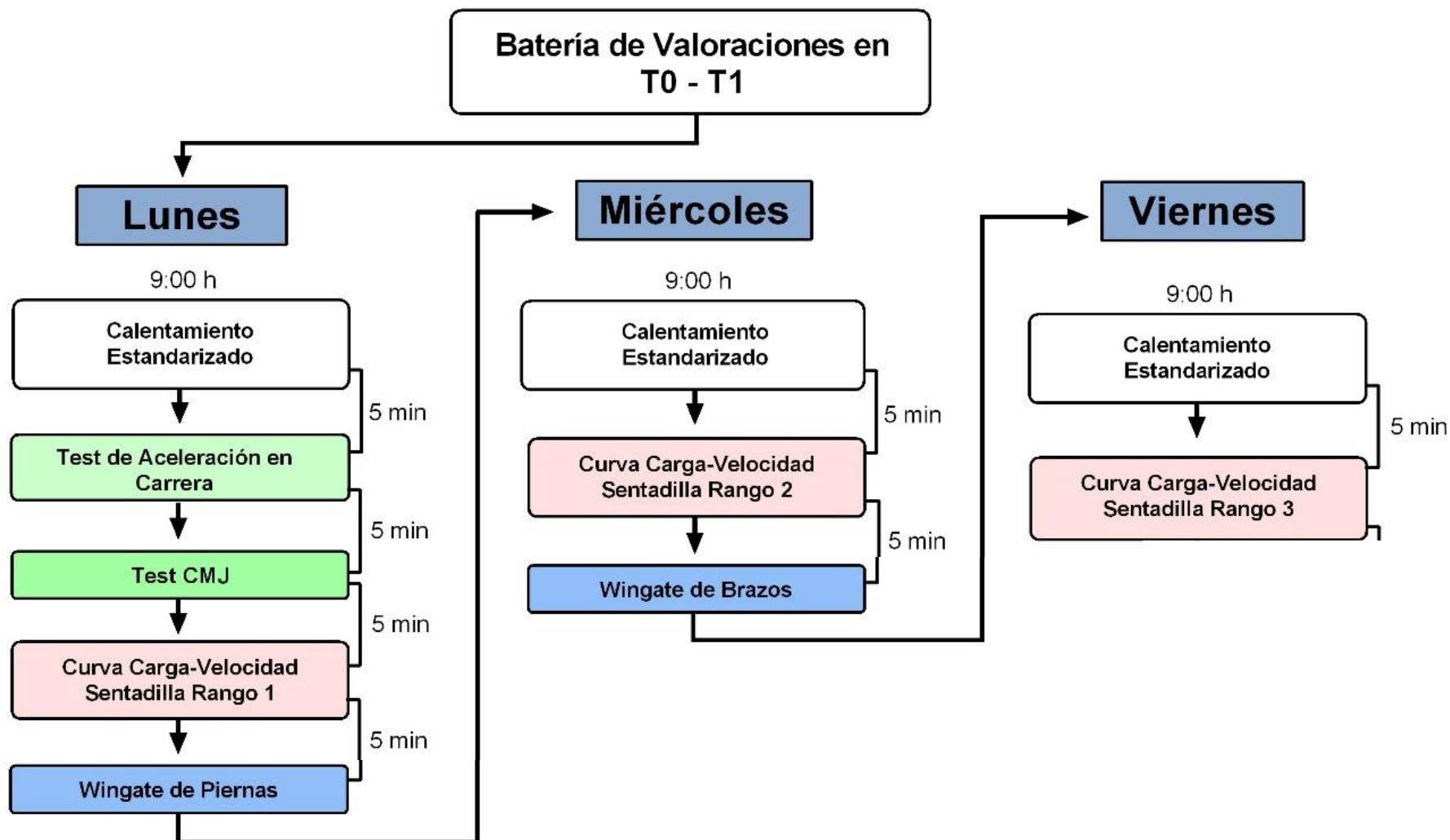
- LA VALIDEZ DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA
- LA EJECUCIÓN TÉCNICA Y EL CUMPLIMIENTO DE LOS PROTOCOLOS.
- LA SITUACIÓN AMBIENTAL DE CADA SESIÓN DE TRABAJO

### VARIABLES INDEPENDIENTES

Todos los participantes se sometieron a un programa de entrenamiento periodizado de fuerza (desde el 60% 1RM hasta el 80% 1RM) de 10 semanas de duración, con 2 sesiones de entrenamiento semanales, en alguno de los tres rangos de movimiento establecidos para el ejercicio de sentadilla:

- Sentadilla Media
- Sentadilla Paralela
- Sentadilla Completa

## DISEÑO





## PROGRAMA DE INTERVENCIÓN

## Características descriptivas del programa de entrenamiento de fuerza realizado.

Programado	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10
%1RM	~60%	~60%	~65%	~65%	~70%	~70%	~75%	~75%	~80%	~80%
Series x Repeticiones	4 x 8	5 x 8	4 x 8	5 x 8	4 x 6	5 x 6	4 x 5	5 x 5	4 x 4	5 x 4
<b>Objetivo VMP (ms<sup>-1</sup>)</b>										
Grupo ST-C	0.74	0.74	0.68	0.68	0.63	0.63	0.58	0.58	0.52	0.52
Grupo ST-P	0.68	0.68	0.63	0.63	0.58	0.58	0.53	0.53	0.48	0.48
Grupo ST-H	0.59	0.59	0.55	0.55	0.51	0.51	0.47	0.47	0.43	0.43


JOURNAL OF SPORTS SCIENCES  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1544187>

 Routledge  
Taylor & Francis Group

SPORTS MEDICINE AND BIOMECHANICS

 Check for updates

### Velocity- and power-load relationships in the half, parallel and full back squat

Alejandro Martínez-Cava<sup>a</sup>, Ricardo Morán-Navarro<sup>a</sup>, Luis Sánchez-Medina<sup>b</sup>, Juan José González-Badillo<sup>c</sup>  
and Jesús G. Pallarés 

<sup>a</sup>Human Performance and Sports Science Laboratory, Faculty of Sport Sciences, University of Murcia, Murcia, Spain; <sup>b</sup>Centre for Studies, Research & Sports Medicine, Government of Navarre, Pamplona, Spain; <sup>c</sup>Faculty of Sport, Pablo de Olavide University, Seville, Spain

#### ABSTRACT

This study aimed to compare the load-velocity and load-power relationships of three common variations of the squat exercise. 52 strength-trained males performed a progressive loading test up to the one-repetition maximum (1RM) in the full (F-SQ), parallel (P-SQ) and half (H-SQ) squat, conducted in random order on separate days. Bar velocity and vertical force were measured by means of a linear velocity transducer time-synchronized with a force platform. The relative load that maximized power output (Pmax) was analyzed using three outcome measures: mean concentric (MP), mean propulsive (MPP) and peak power (PP), while also including or excluding body mass in force calculations. 1RM was significantly different between exercises. Load-velocity and load-power relationships were significantly different between the F-SQ, P-SQ and H-SQ variations. Close relationships ( $R^2 = 0.92-0.96$ ) between load

#### ARTICLE HISTORY

Accepted 30 October 2018

#### KEYWORDS

Resistance training; muscle strength; force platform; propulsive phase; squat depth; lumbar spine

## INSTRUMENTAL Y EQUIPAMIENTOS

CINEANTROPOMETRÍA

PLATAFORMA DE SALTOS

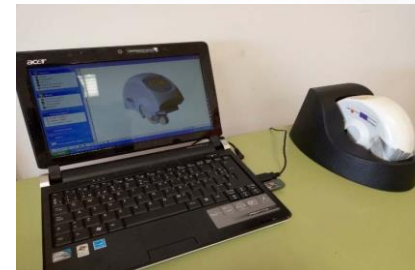
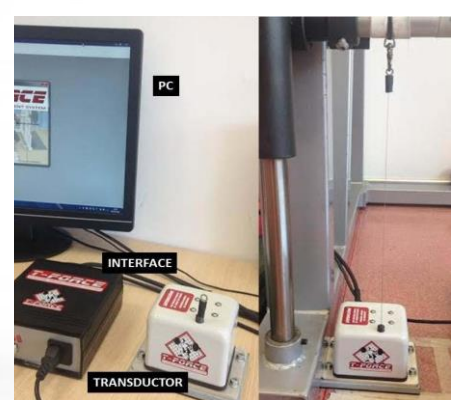
SISTEMA DE CRONOMETRAJE MEDIANTE CÉLULAS  
FOTOELÉCTRICAS

CICLOERGÓMETRO SRM

MÁQUINA SMITH O MULTIPOWER

TRANSDUCTOR LINEAL DE VELOCIDAD

SPINAL MOUSE



## PROCEDIMIENTOS

ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL

EVALUACIÓN DEL RANGO DE MOVIMIENTO SAGITAL DE LA COLUMNA VERTEBRAL

TEST DE CAPACIDAD DE ACELERACIÓN EN CARRERA

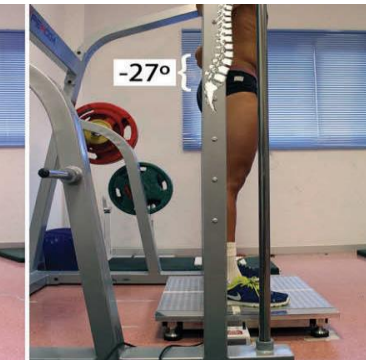
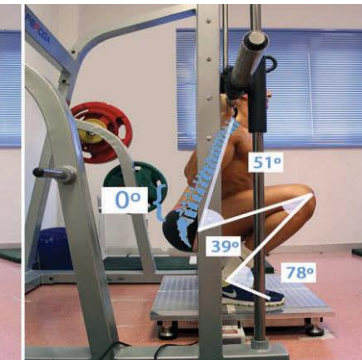
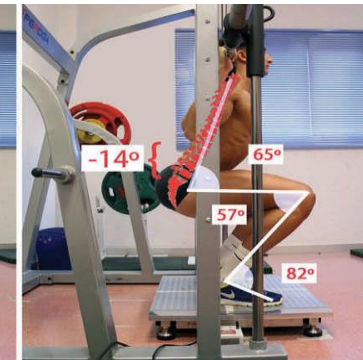
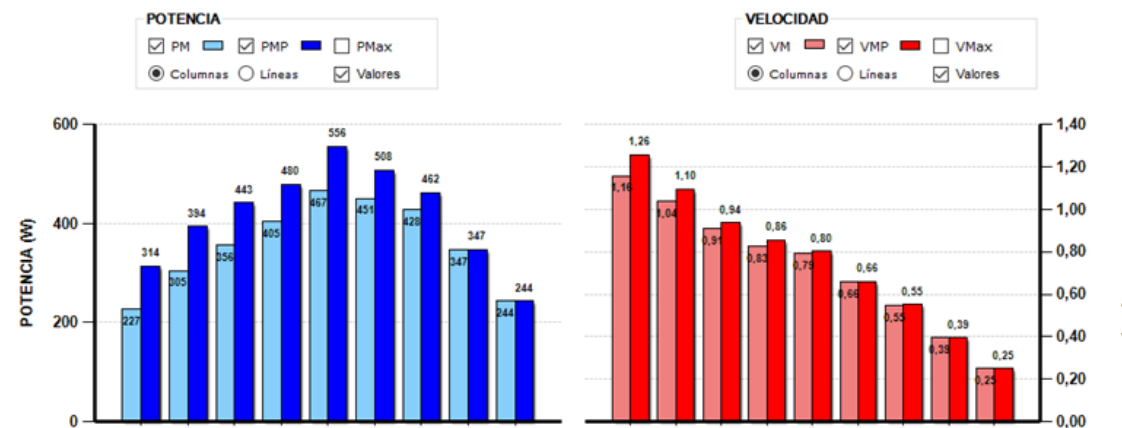
TEST WINGATE DE PIERNAS

TEST DE SALTO CON CONTRAMOVIMIENTO (CMJ)

TEST PROGRESIVO CON CARGAS HASTA LA REPETICIÓN MÁXIMA Y RELACIÓN CARGA-VELOCIDAD Y CARGA-POTENCIA

TÉCNICAS DE EJECUCIÓN PARA CADA RANGO DE MOVIMIENTO EN SENTADILLA

- Media Sentadilla
- Sentadilla Paralela
- Sentadilla Completa



## Cambios en variables de rendimiento neuromuscular seleccionadas de pre y post entrenamiento para cada grupo de entrenamiento en sentadillas.

Grupo	Variable	Ejercicio / Pre-post								
		ST-C			ST-P			ST-M		
		T0	T1	ES	T0	T1	ES	T0	T1	ES
ST-C (n = 12)	1RM (kg)	82.7 ± 11.2	96.3 ± 11.1*	1.22	90.6 ± 10.1	102.5 ± 11.0*	1.13	124.6 ± 20.1	139.4 ± 18.5*	0.77
	1RM/MC	1.14 ± 0.10	1.34 ± 0.12*	1.81	1.26 ± 0.14	1.43 ± 0.16*	1.13	1.72 ± 0.18	1.93 ± 0.19*	1.13
	VPM <sub>ALL</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	0.74 ± 0.05	0.86 ± 0.05*	2.40	0.73 ± 0.08	0.82 ± 0.06*	1.27	0.68 ± 0.07	0.75 ± 0.06*	1.07
	VPM <sub>&lt;50%1RM</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	1.03 ± 0.08	1.14 ± 0.08*	1.38	0.97 ± 0.08	1.07 ± 0.08*	1.25	0.92 ± 0.08	1.01 ± 0.07*	1.20
	VPM <sub>&gt;50%1RM</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	0.50 ± 0.04	0.62 ± 0.06*	2.35	0.53 ± 0.05	0.62 ± 0.04*	1.99	0.49 ± 0.06	0.55 ± 0.06*	1.00
ST-P (n = 13)	1RM (kg)	81.3 ± 12.0	89.7 ± 11.2*	0.72	88.8 ± 13.1	100.8 ± 14.2*	0.88	121.5 ± 22.2	133.8 ± 20.2	0.58
	1RM/MC	1.12 ± 0.16	1.22 ± 0.17	0.61	1.22 ± 0.20	1.37 ± 0.20*	0.75	1.69 ± 0.39	1.83 ± 0.37	0.37
	VPM <sub>ALL</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	0.74 ± 0.06	0.81 ± 0.05*	1.27	0.74 ± 0.06	0.82 ± 0.05*	1.45	0.67 ± 0.06	0.72 ± 0.06*	0.83
	VPM <sub>&lt;50%1RM</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	0.99 ± 0.08	1.06 ± 0.06*	0.99	0.96 ± 0.08	1.03 ± 0.06*	0.99	0.86 ± 0.08	0.92 ± 0.08*	0.75
	VPM <sub>&gt;50%1RM</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	0.50 ± 0.06	0.57 ± 0.07*	1.07	0.52 ± 0.04	0.60 ± 0.05*	1.77	0.52 ± 0.04	0.57 ± 0.07*	0.88
ST-M (n = 11)	1RM (kg)	82.3 ± 11.0	84.5 ± 9.9	0.21	89.3 ± 12.7	92.5 ± 10.3	0.28	119.3 ± 18.5	127.7 ± 16.8	0.48
	1RM/MC	1.15 ± 0.20	1.19 ± 0.19	0.21	1.25 ± 0.23	1.30 ± 0.23	0.22	1.68 ± 0.35	1.80 ± 0.38	0.33
	VPM <sub>ALL</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	0.85 ± 0.24	0.85 ± 0.18	<0.01	0.77 ± 0.10	0.78 ± 0.08	0.11	0.68 ± 0.11	0.71 ± 0.13	0.25
	VPM <sub>&lt;50%1RM</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	0.99 ± 0.10	0.99 ± 0.12	<0.01	0.96 ± 0.10	0.98 ± 0.09	0.21	0.93 ± 0.10	0.97 ± 0.10	0.40
	VPM <sub>&gt;50%1RM</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	0.51 ± 0.06	0.53 ± 0.07	0.31	0.53 ± 0.07	0.55 ± 0.07	0.29	0.50 ± 0.07	0.54 ± 0.06*	0.61
Control (n = 14)	1RM (kg)	84.1 ± 5.7	77.3 ± 7.6*	1.01	91.8 ± 6.3	83.9 ± 7.1*	1.18	125.5 ± 14.6	108.6 ± 13.4*	1.21
	1RM/MC	1.24 ± 0.11	1.14 ± 0.10*	0.95	1.36 ± 0.13	1.24 ± 0.10*	1.03	1.86 ± 0.22	1.60 ± 0.17*	1.32
	VPM <sub>ALL</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	0.75 ± 0.09	0.71 ± 0.06	0.52	0.73 ± 0.07	0.69 ± 0.07	0.57	0.72 ± 0.06	0.67 ± 0.06*	0.83
	VPM <sub>&lt;50%1RM</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	1.06 ± 0.09	1.02 ± 0.08	0.47	1.00 ± 0.06	0.96 ± 0.07	0.61	0.96 ± 0.09	0.90 ± 0.07	0.74
	VPM <sub>&gt;50%1RM</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	0.57 ± 0.07	0.52 ± 0.05*	0.82	0.57 ± 0.06	0.53 ± 0.06	0.67	0.52 ± 0.08	0.47 ± 0.09	0.59

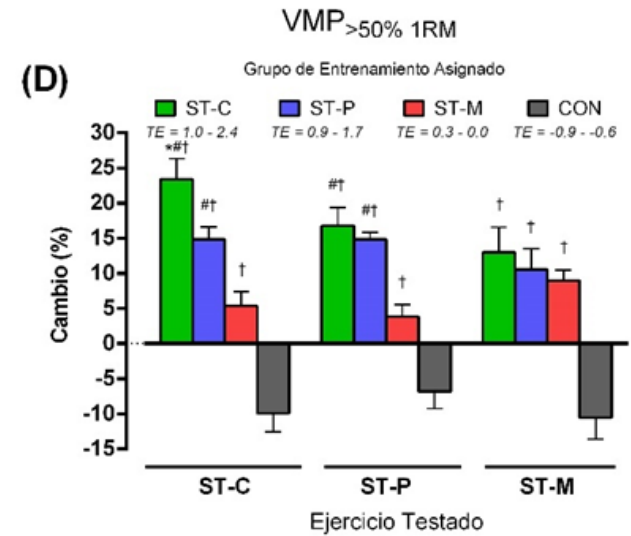
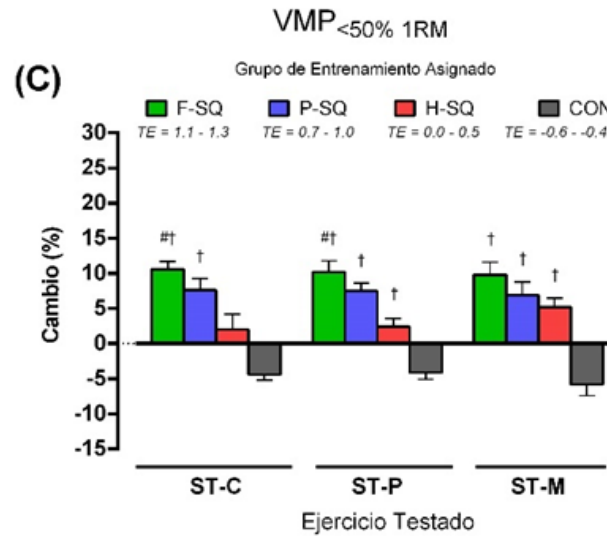
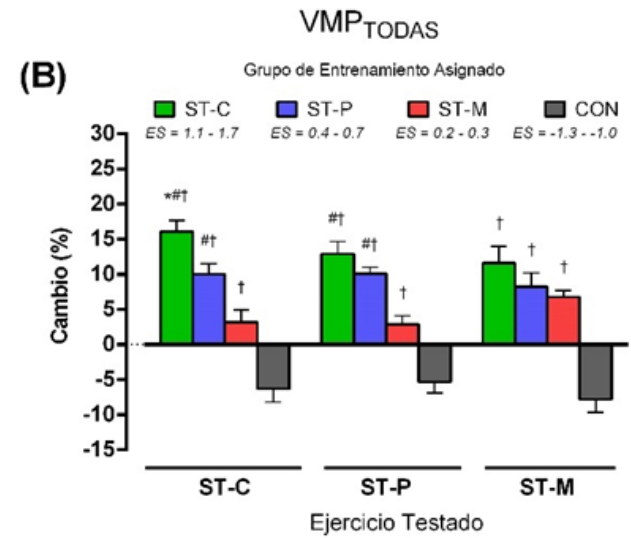
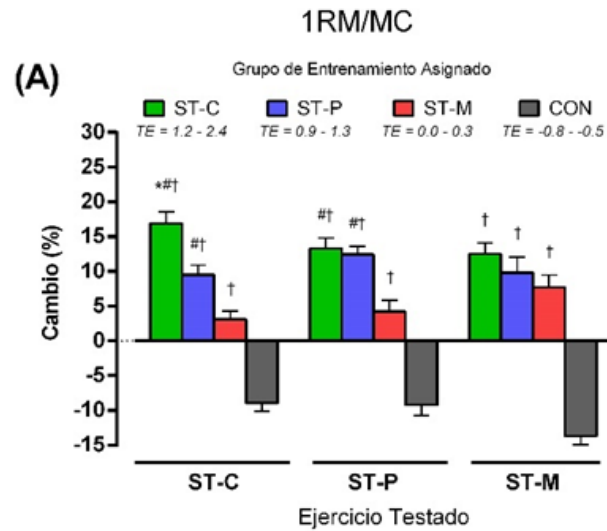
Nota: Los datos son medias ± DE. ES: tamaño del efecto; ST-C: sentadilla completa; ST-P: sentadilla paralela; ST-M: Media sentadilla; 1RM: repetición máxima; MC: masa corporal; VPM: velocidad media propulsiva.  
\*Diferencias significativas en comparación con T0.



**Cambios en las variables de rendimiento funcional pre y post entrenamiento.**

Grupo	Variable	Pre-post		
		T0	T1	ES
ST-C ( <i>n</i> = 12)	WGT <sub>pico</sub> (W)	1035 ± 185	1103 ± 200	0.35
	WGT <sub>media</sub> (W)	677 ± 84	707 ± 72	0.38
	CMJ (cm)	35.8 ± 5.3	40.4 ± 5.5*	0.85
	Tiempo 0-20m (s)	2.95 ± 0.14	2.88 ± 0.15	0.48
ST-P ( <i>n</i> = 13)	WGT <sub>pico</sub> (W)	855 ± 323	906 ± 338	0.15
	WGT <sub>media</sub> (W)	643 ± 79	667 ± 75	0.31
	CMJ (cm)	34.0 ± 5.6	37.1 ± 5.5	0.56
	Tiempo 0-20m (s)	2.96 ± 0.11	2.93 ± 0.09	0.30
ST-M ( <i>n</i> = 11)	WGT <sub>pico</sub> (W)	996 ± 121	984 ± 103	-0.11
	WGT <sub>media</sub> (W)	650 ± 211	656 ± 59	0.04
	CMJ (cm)	33.9 ± 6.6	35.7 ± 6.3	0.28
	Tiempo 0-20m (s)	2.94 ± 0.09	2.94 ± 0.09	<0.01
Control ( <i>n</i> = 14)	WGT <sub>pico</sub> (W)	1023 ± 121	1020 ± 134	0.02
	WGT <sub>media</sub> (W)	648 ± 57	642 ± 65	0.10
	CMJ (cm)	37.5 ± 5.1	36.2 ± 5.1	0.25
	Tiempo 0-20m (s)	2.92 ± 0.14	2.97 ± 0.12	0.38

Nota: Los datos son medias ± DE. ES: tamaño del efecto; ST-C: sentadilla completa; ST-P: sentadilla paralela; ST-M: Media sentadilla; WGT<sub>Pico</sub>: potencia máxima de Wingate; WGT<sub>Media</sub>: potencia media de Wingate; CMJ: salto con contramovimiento. \* Diferencias significativas en comparación con T0.



El presente estudio tuvo como objetivo aclarar si el entrenamiento en rangos de movimiento completos o parciales produce diferentes adaptaciones neuromusculares después de un programa de fuerza prolongado.

Los principales hallazgos fueron:

Estos hallazgos confirman que **la ST-C de STPC con una técnica correcta y las cargas adecuadas en todos los ejercicios más seguros y efectivos para mejorar la fuerza y el rendimiento funcional** después de 10 semanas de entrenamiento

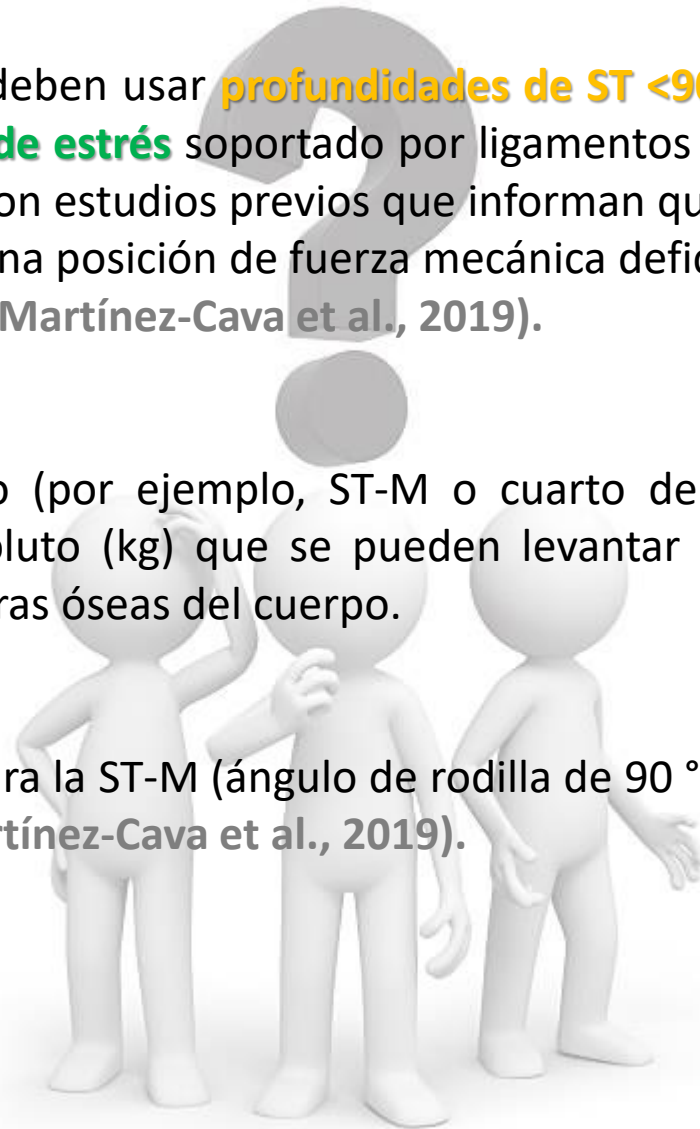
(ii) los sujetos de los tres grupos de entrenamiento de ST **mejoraron significativamente más en el rango de movimiento** de la ST-C y ST-P. La evidencia **principal** es la **reducción** de la **inestabilidad** de la ST-C y ST-P provocada por el entrenamiento en rangos más profundos (ST-C y ST-P) provoca las **lesiones** de la ST-C y ST-P. **(iii) diez semanas** de este programa de entrenamiento **protegen** al grupo de entrenamiento de ST-C y ST-P **de lesiones** de la ST-C y ST-P **de 10 a 12 semanas** (Bortolotto et al., 2011; Hattmann et al., 2012) **neuromuscular**, principalmente contra cargas altas



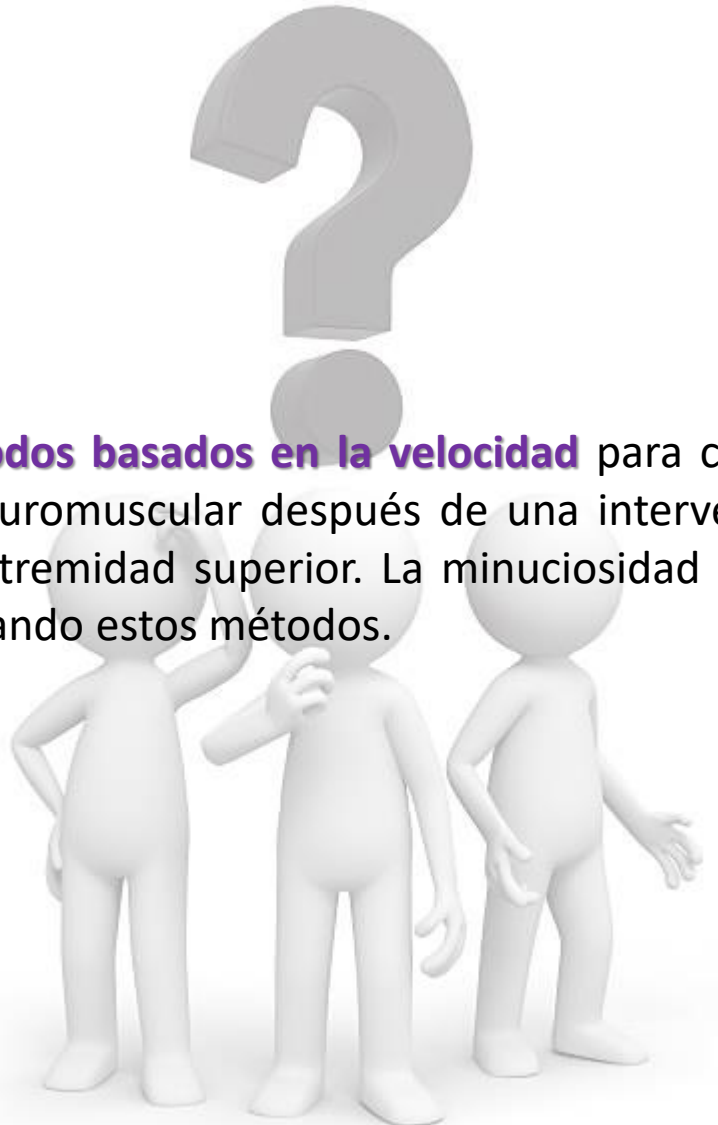
Contrariamente a la creencia popular, se deben usar **profundidades de ST <90 °** de flexión de la rodilla en lugar de un rango más corto para **reducir la cantidad de estrés** soportado por ligamentos y los tendones musculares (Hartmann et al., 2012, 2016). Esta idea es consistente con estudios previos que informan que un rango más corto > 70 ° de flexión de la rodilla impide que los atletas alcancen una posición de fuerza mecánica deficiente (es decir, "sticking region") durante la fase concéntrica (Escamilla et al., 2001; Martínez-Cava et al., 2019).

Esta **falsa "ventaja"** de rango más corto (por ejemplo, ST-M o cuarto de sentadilla) da como resultado grandes **incrementos en las cargas** en valor absoluto (kg) que se pueden levantar a la misma carga relativa (% 1RM) y el consiguiente estrés producido las estructuras óseas del cuerpo.

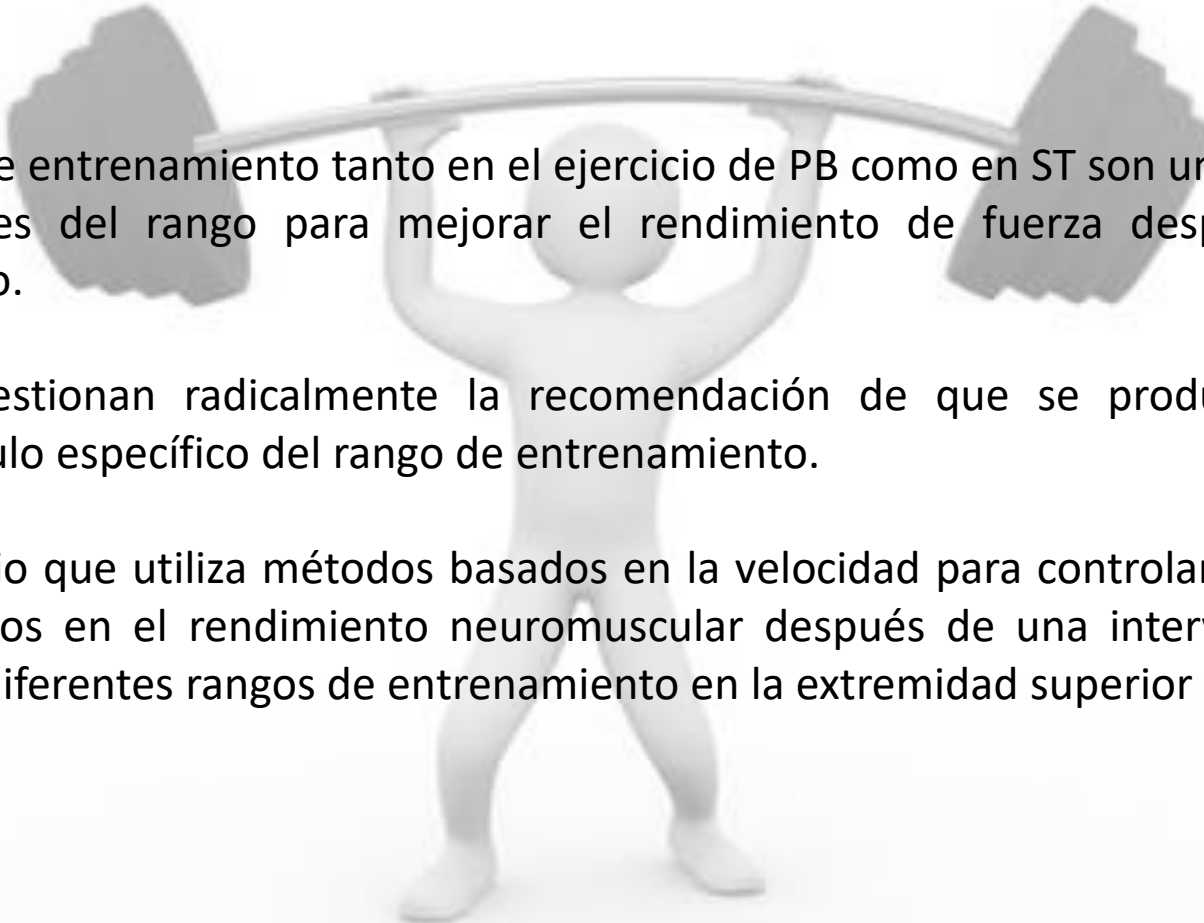
Por ejemplo, el 80% de la carga de 1RM para la ST-M (ángulo de rodilla de 90 °) podría aumentar 1.5 veces (70 kg frente a 105 kg) en comparación con la ST-C (Martínez-Cava et al., 2019).







Este es el primer estudio que utiliza **métodos basados en la velocidad** para controlar cada repetición, así como para evaluar los cambios en el rendimiento neuromuscular después de una intervención de fuerza prolongada basada en diferentes rangos de movimiento en la extremidad superior. La minuciosidad de este trabajo alienta futuros estudios para probar los programas de PB y ST utilizando estos métodos.



Los rangos completos de entrenamiento tanto en el ejercicio de PB como en ST son un ejercicio más efectivo que las variaciones parciales del rango para mejorar el rendimiento de fuerza después de un programa de entrenamiento continuo.

Nuestros hallazgos cuestionan radicalmente la recomendación de que se produzcan mayores mejoras y adaptaciones en el ángulo específico del rango de entrenamiento.

Este es el primer estudio que utiliza métodos basados en la velocidad para controlar cada repetición, así como para evaluar los cambios en el rendimiento neuromuscular después de una intervención de entrenamiento prolongada basada en diferentes rangos de entrenamiento en la extremidad superior e inferior.