

Bermejo, J.L.; Marco-Ahulló, A.; Ribeiro do Couto, B.; Monfort-Torres, G.; Pardo, A. (202x) Effect of High Intensity Strength Exercise on Cognitive Performance. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. X (X) pp. xx. [Http://cdeporte.rediris.es/revista/\\_\\_\\_\\*](http://cdeporte.rediris.es/revista/)

## ORIGINAL

### EFECTO DE UN EJERCICIO DE FUERZA DE ALTA INTENSIDAD SOBRE EL RENDIMIENTO COGNITIVO

### EFFECT OF HIGH INTENSITY STRENGTH EXERCISE ON COGNITIVE PERFORMANCE

Bermejo, J.L.<sup>1</sup>; Marco-Ahulló, A.<sup>2</sup>; Ribeiro do Couto, B.<sup>3</sup>; Monfort-Torres, G.<sup>4</sup> y Pardo, A.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Profesor Asociado en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, University of Valencia, Valencia, Spain. [j.luis.bermejo@uv.es](mailto:j.luis.bermejo@uv.es).

<sup>2</sup> Investigador predoctoral. Spinal Cord Injury Unit, Vall d'Hebron Research Institute, Barcelona, Spain. [adria.marco@vhir.org](mailto:adria.marco@vhir.org).

<sup>3</sup> Doctor en Psicobiología. Department of Human Anatomy and Psychobiology Faculty of Psychology, University of Murcia, Spain. [bruno.ribeiro@um.es](mailto:bruno.ribeiro@um.es).

<sup>4</sup> Profesor universitario en la Unidad de Educación de Florida Universitaria, Catarroja, Valencia, Spain. [gonzalomonfort@gmail.com](mailto:gonzalomonfort@gmail.com).

<sup>5</sup> Profesor Ayudante Doctor en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, University of Valencia, Valencia, Spain. [alberto.pardo@uv.es](mailto:alberto.pardo@uv.es)

**Código UNESCO / UNESCO code:** 241106 Fisiología del Ejercicio / 241106 Exercise Physiology

**Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe classification:** 6. Fisiología del ejercicio / Exercise Physiology.

**Recibido** 30 de septiembre de 2019 **Received** September 30, 2019

**Aceptado** 26 de enero de 2020 **Accepted** January 26, 2020

#### RESUMEN

**OBJETIVO.** El objetivo principal de este estudio fue dilucidar los efectos de un ejercicio de fuerza de alta intensidad hasta el fallo en las respuestas conductuales y fisiológicas. El segundo objetivo fue evaluar el efecto del desempeño de las tareas cognitivas sobre los niveles de cortisol. **MÉTODOS:** Catorce sujetos activos completaron un ejercicio de estrés físico compuesto de 6 series de sentadillas hasta el fallo. El cortisol salival y las funciones cognitivas se evaluaron de forma contrabalanceada antes y después del ejercicio. **RESULTADOS:** Se mostraron niveles de cortisol más bajos antes del ejercicio y más altos antes de la tarea cognitiva ( $p < 0.05$ ). **CONCLUSIONES:** El estrés inducido por el ejercicio tuvo un efecto perjudicial en la atención. Además, los efectos del estrés en el rendimiento cognitivo parecen depender del tiempo

transcurrido entre el cese del ejercicio y la evaluación de estos, pero no del tipo de ejercicio de alta intensidad realizado.

**PALABRAS CLAVE:** Fuerza, estrés, cortisol, rendimiento cognitivo, sentadilla

## **ABSTRACT**

**OBJECTIVES.** The first aim of this study was to elucidate the effects of a single high intensity strength exercise until failure on behavioral (i.e., attention) and physiological (i.e., salivary cortisol) responses. The second goal was to evaluate the effect of the performance of the cognitive tasks on cortisol levels. **METHODS.** Fourteen physically active subjects completed a physical stress exercise consisting of 6 sets of squat repetitions to failure. Salivary cortisol and cognitive functions were evaluated in counterbalanced order prior to and following exercise-induced stress. **RESULTS.** The results showed lower cortisol levels before the exercise and higher cortisol values before the cognitive task ( $p < 0.05$ ). **CONCLUSIONS.** Exercise-induced stress had a detrimental effect on attention. Furthermore, the effects of stress on cognitive performance seem to depend on the time elapsed between the cessation of the exercise and the evaluation of these but not the type of high intensity exercise performed.

**KEYWORDS:** Strength, stress, cortisol, cognitive performance, squat.

## **1. Introducción**

Los efectos producidos por el ejercicio físico sobre diferentes variables psicológicas y/o fisiológicas pueden analizarse de forma puntual (estudiando el rendimiento inmediatamente después de realizar una actividad física), o analizando los cambios producidos por la intervención a lo largo del tiempo (efectos crónicos) (1,2). En el caso del ejercicio físico de alta intensidad, debemos tener en cuenta que las catecolaminas, la hormona del crecimiento, la hormona adrenocorticotrópica, la prolactina y el cortisol aumentan, y que las gonadotropinas hipofisarias descienden, actuando como un estresor (3).

Algunas hormonas han sido muy estudiadas en relación con el ejercicio físico de alta intensidad. Específicamente, los cambios en la testosterona, el cortisol y su relación (T/C) se han considerado indicadores de adaptación al esfuerzo físico puntual y crónico (4). En general, la intensidad de las cargas de ejercicio afecta la producción de cortisol, observando que en el caso de valores cercanos al umbral anaeróbico (aproximadamente el 80% del  $VO_{2max}$ ) o intensidades que causan agotamiento, hay un aumento de las hormonas del estrés (adrenalina y cortisol) que rápidamente conduce a un estado de sobrecarga psicofísica (5). Este estrés produce aumentos de las concentraciones de cortisol en la sangre y la saliva (6,7) y ambos parámetros están estrechamente relacionados (8). Por lo tanto, los procesos catabólicos se ven favorecidos sobre los anabólicos, lo que beneficia el ajuste del organismo a corto pero no a largo plazo (9).

En consecuencia, en lo que respecta a los vínculos entre el cortisol y el ejercicio, el cortisol puede estar relacionado con los efectos del ejercicio sobre la cognición

(10). De hecho, Heaney et al. (11) descubrieron en un estudio previo que los efectos beneficiosos de un solo episodio de ejercicio de alta intensidad en el rendimiento cognitivo podrían atribuirse a disminuciones agudas en los niveles de cortisol. Sin embargo, aunque trabajos anteriores han demostrado que el cortisol puede modular el rendimiento cognitivo (es decir, atención y memoria), algunos de ellos presentan hallazgos contradictorios entre sí, dejando esta problemática aún sin resolver (10,12,13). De hecho, el patrón de efectos del cortisol en la cognición parece seguir una curva en forma de *U* invertida (14), es decir, mientras que los niveles moderados se asocian con una mejora en el rendimiento cognitivo (15,16), los niveles más altos de cortisol interfieren con las funciones cognitivas, que dependen en gran medida de las redes prefrontales (es decir, control inhibitorio, regulación de la atención y recuperación de la memoria) (15,17,18).

La mayoría de las investigaciones sobre el ejercicio físico de alta intensidad que se han centrado en el estudio de estos efectos se han realizado con protocolos basados en ejercicios aeróbicos cortos y/o largos (19,20). No obstante, la literatura científica que examina los efectos agudos del ejercicio de fuerza sobre el rendimiento cognitivo es más limitada (21), y se necesita más investigación para facilitar nuestra comprensión de si el ejercicio de fuerza beneficia el rendimiento cognitivo.

Teniendo todo esto en cuenta, parece que el estudio del efecto concurrente de un ejercicio de alta intensidad sobre el rendimiento cognitivo y el sistema endocrinológico ha arrojado resultados inconsistentes. Por ello, los autores plantean la hipótesis de que el rendimiento cognitivo disminuye después del estrés inducido por el ejercicio de fuerza cuando coincide con el pico máximo de cortisol. Con el fin de confirmar o desmentir dicha hipótesis, los objetivos de este estudio fueron dilucidar los efectos de un ejercicio físico de fuerza de alta intensidad hasta el fallo en las respuestas conductuales (atención) y fisiológicas (cortisol salival), y evaluar el efecto del desempeño de las tareas cognitivas sobre los niveles de cortisol.

## 2. Material y métodos

### 2.1 Muestra

Para determinar el tamaño de muestra apropiado para este estudio, se realizó un análisis previo de la potencia estadística utilizando el software de libre disponibilidad G\*Power 3.1.9 (Universidad de Düsseldorf, Düsseldorf, Alemania). El cálculo del tamaño del efecto se basó en revisiones recientes sobre los estresores agudos y las respuestas de cortisol (12) y el efecto del ejercicio de alta intensidad sobre el rendimiento cognitivo (22). El tamaño óptimo de la muestra es de 14 participantes, y se calculó fijando la probabilidad de un error tipo 1 en un alfa de 0.05, y una potencia estadística de 0,80 para lograr un tamaño de efecto de 0,28. 14 hombres sanos [media (Desviación Estándar (DE)); edad: 32,5 (0,96) años; peso: 78.02 (1,63) Kg; altura: 175,35 (2,5)] fueron reclutados para participar en este estudio. Todos los sujetos estaban familiarizados con el entrenamiento de fuerza (al menos 1h al día 5 días/semana de práctica de actividad física) y una capacidad para levantar su peso corporal al menos 1,5 veces durante el ejercicio de media sentadilla. Además, estaban

exentos de antecedentes de enfermedades neurológicas o psiquiátricas y declararon que no eran consumidores de drogas o de medicamentos que podrían influir en los resultados.

Los sujetos dieron su consentimiento informado para participar en el estudio. Los protocolos utilizados en este trabajo de investigación recibieron la aprobación del Comité de Ética de la Universidad de Valencia. Estos protocolos también cumplieron los requisitos establecidos en la Declaración de Helsinki de 1975, que fue revisada posteriormente en 2008.

## 2.2 Procedimiento

Se llevó a cabo un diseño intrasujeto en dos sesiones experimentales, con un intervalo de 48 horas entre ellas: día 1, aprendizaje y protocolo de carga incremental para alcanzar la curva de 1RM (1 repetición máxima) y fuerza-velocidad en posición de media sentadilla ( $1RM_{MS}$ ); día 2, sesión de sentadillas inducida por estrés y tarea cognitiva. Para excluir los efectos de confusión debido a las variaciones circadianas del cortisol, todas las pruebas se realizaron por la tarde entre las 13:30 y las 18:00 h (23).

Previamente a la adquisición de datos, los investigadores informaron a los participantes sobre el protocolo a realizar. Los sujetos dieron su consentimiento para participar en el estudio. En esta sesión, los investigadores indicaron a los sujetos que no debían tomar estimulantes 24 horas antes del estudio (ej. café, bebidas energéticas...).

### Día 1, prueba preliminar

Después de llegar al laboratorio, los participantes fueron equipados con un monitor Polar RS800CX HR (Polar Electro Ltd., Kempele, Finlandia). Posteriormente, los participantes pasaron una fase de relajación en una camilla y se controló su respiración mediante el tempo de un metrónomo que marcaba un ritmo de 40 golpes por minuto durante 10 min. A continuación, los participantes completaron la tarea cognitiva: Tarea de Vigilancia Psicomotora (TVP), para familiarizarse con la tarea. Por último, se utilizó un protocolo de carga incremental para calcular  $1RM_{MS}$  de acuerdo con la ecuación de Brzycki (24), empleando un máximo de 7 repeticiones. Los parámetros cinemáticos para cada repetición se calcularon utilizando un sistema de medición dinámico (T-Force System; Ergotech, Murcia, España). Se determinó la carga óptima (OL), lo que nos permitió seleccionar qué tres cargas usar para cada sujeto durante la sesión 2. El comportamiento de la potencia muscular durante los entrenamientos se midió usando tres combinaciones de carga/velocidad (baja, óptima y pesada) (25).

### Día 2, prueba de protocolo

En la sesión 2 (48 h después de la primera), todos los participantes fueron equipados con un Polar RS800CX HR y repitieron la fase de relajación. Antes de esto, cada participante realizó dos series de media sentadilla para cada una de las tres condiciones de carga: óptima u OL, baja (15% por debajo de OL) y pesada (15% por encima de OL); sumando un total de seis series. Cada serie se

realizó hasta el fallo o llegando a un máximo de 20 repeticiones. Todos los participantes realizaron la media sentadilla utilizando estas cargas en orden creciente y todas las repeticiones se llevaron a cabo lo más rápido posible. El tiempo de recuperación entre series de la misma carga fue de 1 minuto, y de 3 minutos entre series de diferentes cargas (26).

Durante esta sesión, el desempeño cognitivo de los participantes fue evaluado a través de la Tarea de Vigilancia Psicomotora (TVP) para medir la vigilancia. Las funciones cognitivas se evaluaron antes y 15 minutos después del estrés físico, coincidiendo con las concentraciones más altas esperadas de cortisol (23). Después de completar ambas tareas cognitivas, se tomaron de nuevo medidas del cortisol. La configuración experimental se representa en la Figura 1.

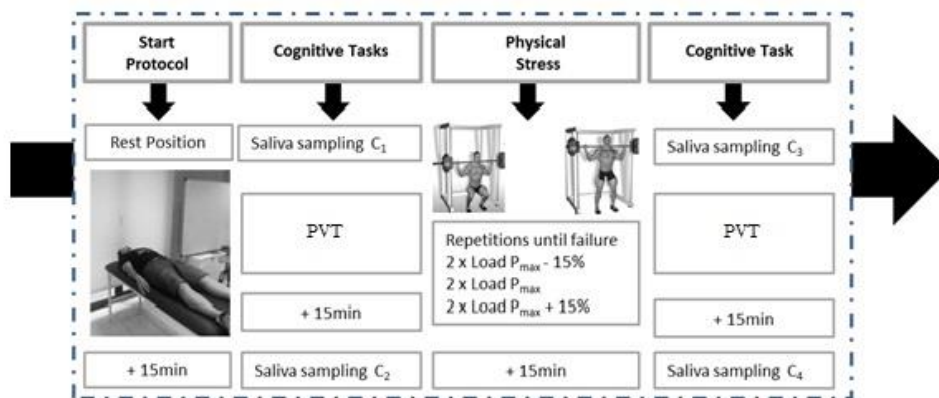


Figura 1. Protocolo del estudio.

## 2.3 Medidas y materiales

### 2.3.1 Muestreo de saliva y análisis de cortisol.

Se recogieron muestras salivales cuatro veces durante la sesión y de acuerdo con los criterios establecidos por (27): C1 (después de que los participantes terminaron la fase de relajación), C2 (15 minutos después de las tareas cognitivas y antes del comienzo del ejercicio de estrés físico), C3 (15 minutos después del estrés muscular ejercicio terminado) y C4 (15 minutos después de finalizar las tareas cognitivas).

Las muestras de saliva se recolectaron con una "salivette" (SARSTEDT S.A., España). Todos los participantes recibieron instrucciones para recolectar adecuadamente la muestra de saliva. Se tuvo cuidado de que los participantes no se hubieran cepillado los dientes, comido o bebido nada 30 minutos antes de tomar la muestra de saliva.

Los procedimientos de investigación y la recolección de muestras de saliva se establecieron teniendo en cuenta el intervalo de tiempo entre estos procedimientos y el despertar. Las muestras se almacenaron en un congelador a -20 ° C, y luego se analizaron utilizando kits comerciales ELISA de cortisol



salival (DRG Instruments GmbH, Alemania). Todas las muestras fueron analizadas simultáneamente y por duplicado.

### 2.3.2 Tarea de vigilancia psicomotora (TVP)

La tarea TVP se basa en la establecida originalmente por Wilkinson y Houghton (1982). Esta fue diseñada para medir la atención sostenida al registrar el tiempo de reacción de los participantes a los estímulos visuales en intervalos aleatorios. Usando el software E-Prime® (Schneider, Eschman y Zuccolotto, 2002) y ordenadores portátiles, se generaron estímulos computarizados de 15" para medir esta función. Además, la adquisición y el análisis de datos se realizaron con este software. En cada prueba, se mostraban barras horizontales negras en una pantalla sobre un fondo gris. Las barras luego cambiaron a una posición vertical a intervalos de tiempo aleatorios [de 2000 a 10000 milisegundos (ms)]. Los participantes recibieron instrucciones de responder lo más rápido posible para detectar el cambio. Debían responder con su mano dominante presionando la barra espaciadora de la computadora portátil. El tiempo medio de reacción (TR) se calculó como la media del tiempo transcurrido entre la presentación del estímulo y la respuesta. Las respuestas de anticipación se consideraron como TR <150 ms y los lapsos TR > 500 ms. La duración de la tarea fue de 9 minutos divididos en tres bloques de tres minutos cada uno.

### Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante el uso del paquete estadístico SPSS 21 para Windows (IBM Corporation, Armonk, NY). En primer lugar se analizaron los estadísticos descriptivos de la media y la mediana como medidas de tendencia central, y la desviación estándar y rango intercuartílico como medidas de dispersión. El supuesto de normalidad se verificó mediante la prueba Kolmogorov-Smirnov. En el caso del cortisol, se aplicó un análisis paramétrico porque esta variable pasó la prueba de normalidad una vez que se logró la transformación logarítmica. A continuación se realizó un ANOVA de medidas repetidas con dos factores [estado de estrés (pre y post estrés) y tiempo de prueba (tarea cognitiva pre y post)]. Posteriormente, se realizó la comparación por pares con la corrección de Bonferroni.

Con respecto a los datos adquiridos sobre variables cognitivas durante la tarea, se calculó el TR, lapsos (LP) y las anticipaciones (AT) para cada participante. El RT se calculó como la media del tiempo transcurrido entre la presentación del estímulo y la respuesta. Los ensayos con un tiempo de reacción inferior a 100 ms se calcularon como AT, y aquellos con un tiempo de reacción superior a 500 ms como LP. Además, la tarea se dividió en 3 bloques de 3 minutos y se calcularon variables para cada bloque.

Los principales efectos de interacción del estado de estrés y el bloque en TR se probaron utilizando un ANOVA de medidas repetidas de dos factores [estado de estrés (pre y post estrés) y bloque (bloque 1, 2 y 3)]. Cuando se encontraron efectos significativos, se solicitaron comparaciones por pares con la corrección de Bonferroni. Finalmente, AT y LP se analizaron usando una prueba no paramétrica (es decir, estas variables no pasaron el supuesto de normalidad). Concretamente, se aplicó la prueba de rangos de Wilcoxon para verificar las

diferencias entre el estrés físico previo y posterior. Además, se aplicó un ANOVA de Friedman para determinar los efectos de bloque en estas variables, ya que cada persona tiene valores para los tres bloques en los dos puntos de tiempo (estrés pre y post físico). Seguidamente se aplicó la prueba de rangos de Wilcoxon.

Finalmente, se realizaron correlaciones de Spearman para establecer relaciones lineales entre el cortisol y variables cognitivas en el estrés pre y post físico. También realizamos correlaciones con los valores delta (pre - post). El nivel de significación se estableció en  $p = .05$  para todo el análisis.

### 3. Resultados

#### 3.1 Medidas de cortisol

Nuestros resultados mostraron un efecto principal significativo del estrés físico del ejercicio de fuerza [ $F(1, 13) = 5.89, p = .03$ , parcial  $\eta^2 = .31$ ] mostrando que el cortisol aumentó tras el estrés post-físico con respecto al estrés pre-físico (Figura 2). Además, se observó un efecto significativo de la tarea cognitiva, [ $F(1, 13) = 17.28, p = 0,001$ , parcial  $\eta^2 = 0,57$ ], observando valores más bajos de cortisol en la tarea postcognitiva en comparación con los valores de la tarea precognitiva. No hubo interacción significativa entre el estrés inducido por el ejercicio de fuerza  $\times$  estrés inducido por la tarea cognitiva,  $p = 0,347$ .

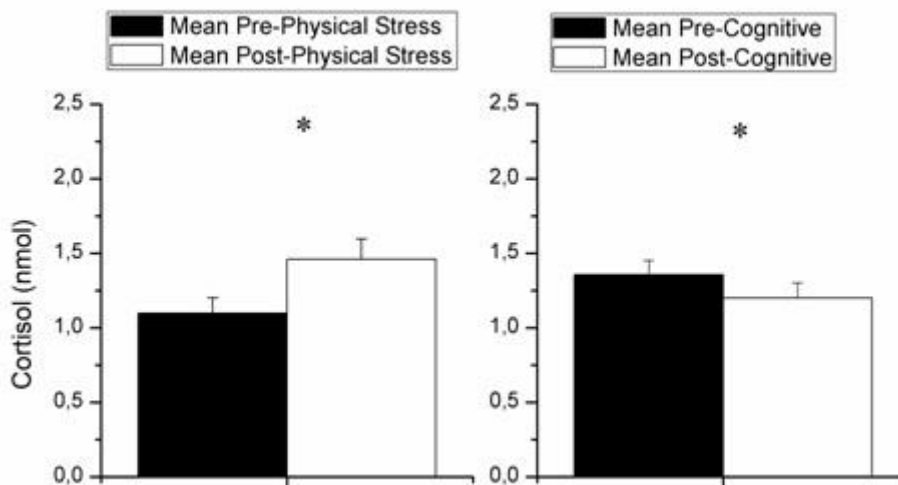


Figura 2. Diferencias entre las muestras de cortisol analizadas.

#### 3.2 Tarea de vigilancia psicomotora (TVP)

Los datos de TR mostraron un efecto principal significativo del estrés físico, [ $F(1, 13) = 5,66, p = 0,03$ , parcial  $\eta^2 = 0,30$ ], observando que en la condición de estrés pre-físico los participantes respondieron más rápido (media = 275,43, (DE) = 5,25) que en la condición de estrés post-físico (media = 291,86, DE = 8,07). Sin embargo, se encontró un efecto no significativo de bloque, [ $F(2, 26) = 3.29, p = 0,053$ , parcial  $\eta^2 = 0,20$ ], y de interacción de estrés físico  $\times$  bloque significativo, [ $F(2, 26) = 1,56, p = 0,23$ , parcial  $\eta^2 = 0,11$ ].

Además, en los LP, hubo un efecto del estrés físico ( $z = -2,07$ ;  $p = 0,044$ ;  $r = -0,55$ ). En particular, el número de lapsos totales en el estrés pre-físico fue menor (media = 1,21, DE = 0,24) que en la condición de estrés post-físico (media = 2.29, DE = .51). No se encontraron efectos significativos del estrés físico en las AT de la TVP. Además, no hubo efecto de bloque en los LP y las AT de la TVP. La Tabla 1 muestra el análisis estadístico descriptivo en los bloques en lapsos y anticipaciones.

**Tabla 1.** TR, lapsos y anticipaciones por bloques

	PVT Pre fatiga			PVT Post fatiga		
	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3
TR	267	273	284	282	300	292
(Ms)	(5.71)	(6.38)	(6.93)	(8.58)	(10.80)	(9.46)
LP	.00	.00	0.50	.00	1.0	.00
	(.00)	(1.0)	(1.0)	(1.0)	(1.0)	(1.0)
AT	.00	1.0	.00	.00	.50	.00
	(1.0)	(1.25)	(1.25)	(0.25)	(2.0)	(1.25)

\*Los datos para TR se expresan como media (desviación estándar). Los datos para LP y AT se expresan como mediana (rango intercuartil).

### 3.3 Análisis de correlación

El análisis de correlaciones de Spearman no encontró relación entre el cortisol y ninguna de las variables cognitivas.

Además, la correlación entre los valores delta (estrés físico pre y post) también se mostró negativa.

## 4. Discusión

El objetivo principal del presente estudio fue describir el efecto agudo del estrés inducido por un ejercicio de fuerza (6 series de sentadillas) sobre los niveles de cortisol y la función cognitiva (vigilancia). Los principales resultados mostraron que el estrés físico (sentadillas) causó un aumento en los niveles de cortisol y degradó el desempeño de las tareas de vigilancia (TR más altas y mayor número de lapsos). Por otro lado, debe tenerse en cuenta que el desempeño de las tareas cognitivas reduce los niveles de cortisol.

En primer lugar, el completar un protocolo de ejercicio de alta intensidad (sentadillas) podría conducir a cambios significativos en relación con las demandas fisiológicas y atencionales. De hecho, las respuestas fisiológicas a un ejercicio de fuerza (es decir, el cortisol) aumentaron después del protocolo de sentadilla hasta el fallo. La respuesta hormonal al entrenamiento de fuerza ha mostrado aumentos, sin cambios o disminuciones en los niveles circulantes de testosterona total en suero o testosterona libre, y un aumento en el cortisol (28,29).

El entrenamiento de resistencia y la fuerza producen dos tipos divergentes de estímulos fisiológicos. El primero implica principalmente ejercicio de intensidad



submáxima con resistencia baja o moderada durante un período prolongado. Por el contrario, como en nuestro caso, el entrenamiento de fuerza implica ejercicio breve, de alta intensidad e intermitente de gran resistencia (9).

Los cambios en la testosterona, el cortisol y su relación (T/C) se han considerado indicadores de adaptación al esfuerzo físico agudo y crónico (4). Confirmando así que tales protocolos de fatiga intermitente de fuerza perturban en gran medida el eje Hipotalamo-pituitario-adrenal (HPA) (7,30).

Con respecto al efecto de la tarea cognitiva, hubo una disminución del cortisol tras la realización de la tarea cognitiva posterior al ejercicio, observándose además que el cortisol disminuyó significativamente en ambas condiciones (pre y post fatiga) después de la tarea cognitiva. Normalmente, el pico máximo de cortisol se encuentra de 0-20 min después del ejercicio y vuelve a los niveles pre-estresores en 41-60 min después del final del estresor (12). Estos resultados parecen sugerir que la tarea cognitiva empleada (TVP) no produjo una tensión mental suficiente para mantener o aumentar los niveles de cortisol (31).

Además, con respecto a la TVP, el TR fue significativamente mayor en condiciones de post fatiga que en condiciones previas a la fatiga. Este hecho contradice los resultados de otros estudios (21,32,33), que sugieren que las respuestas fisiológicas transitorias al ejercicio (ej., Endorfinas o serotonina) pueden aumentar el rendimiento cognitivo (22). Sin embargo, el rendimiento cognitivo disminuye después de este período transitorio debido a un rápido cese de estas respuestas fisiológicas al ejercicio (22). En nuestro caso, el participante mostró mayor TR (es decir, menor rendimiento) desde el primer bloque en comparación con el rendimiento previo al ejercicio. Además, la precisión de la respuesta (lapsos) difiere significativamente entre las condiciones previas y posteriores a la fatiga, mostrando una disminución en la precisión en las condiciones posteriores a la fatiga. En general, el deterioro se caracterizó por tiempos de reacción significativamente más lentos y menos respuestas correctas que fueron particularmente pronunciadas en los primeros bloques después del ejercicio de estrés.

Según las teorías de la excitación, la relación entre el estrés y el rendimiento sigue una función en forma de U invertida (34). Por lo tanto, el tiempo transcurrido entre el ejercicio y la evaluación de las funciones cognitivas es una variable crucial en los efectos psicofisiológicos del estrés inducido por el ejercicio (35). Es decir, mientras que la evaluación instantánea con niveles moderados de estrés provoca una reactividad moderada del cortisol y una activación del sistema adrenérgico, y a menudo conduce a efectos positivos en el rendimiento cognitivo (es decir, TR más bajo) (21,32,33), la evaluación cognitiva después de un período de tiempo en el que el estrés agudo produce grandes aumentos en el cortisol (de 15-20 min), provoca una reducción significativa en el rendimiento cognitivo (es decir, mayor TR y baja precisión) (36-38).

En nuestro estudio, durante el período de espera de 15 minutos (después del ejercicio) previo a la recolección de cortisol salival, tuvo lugar una disminución en la activación del sistema nervioso simpático (predominantemente, en situaciones de estrés y emergencia) y un aumento en el sistema nervioso

parasimpático (predominante en reposo), lo cual explica el peor desempeño en la tarea de TVP después del ejercicio de fuerza de alta intensidad.

Teniendo en cuenta que la función atencional es de vital importancia para el rendimiento deportivo (39,40), los autores creen que los resultados hallados en este estudio podrían aportar información innovadora y fundamental sobre la necesidad de controlar y hacer frente al estrés, y el impacto en el rendimiento de esta función crucial para el proceso de percepción y toma de decisiones. Los resultados mostrados podrían ser de gran interés para muchas modalidades deportivas donde la incertidumbre y la adaptabilidad al medio ambiente son clave.

## 5. Conclusiones

En conclusión, realizar un protocolo de fatiga de fuerza física es un método adecuado para inducir un estrés suficiente que afecte el eje HPA y que segregue el cortisol. El tiempo de reacción y el rendimiento de precisión en una tarea cognitiva (es decir, TVP) disminuye después del estrés inducido por el ejercicio de fuerza cuando coincide con el pico máximo de cortisol (15 minutos después del ejercicio de fuerza). Por último y haciendo referencia al segundo objetivo de este estudio, los efectos del estrés sobre el rendimiento cognitivo parecen depender del tiempo transcurrido entre el cese del ejercicio y la evaluación de estos, pero no del tipo de ejercicio de alta intensidad realizado.

Estos resultados podrían ser de gran interés para los entrenadores y preparadores físicos de diferentes deportes, y pueden ayudar a organizar mejor la planificación del entrenamiento para optimizar el rendimiento, aprovechando los diferentes momentos de excitación adrenérgica para realizar tareas motoras donde el tiempo de reacción siempre es decisivo para la toma de decisiones (41).

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lambourne K, Tomporowski P. The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis. *Brain Res.* 2010;1341:12–24.
2. Bonet J, Parrado E, Capdevila L. Efectos agudos del ejercicio físico sobre el estado de ánimo y la hrv. *Rev Int Med Cienc Act Física Deporte.* 2017;17(65):85–100.
3. Tsai C-L, Wang C-H, Pan C-Y, Chen F-C, Huang T-H, Chou F-Y. Executive function and endocrinological responses to acute resistance exercise. *Front Behav Neurosci.* 2014;8:262.
4. Pedersen BK, Hoffman-Goetz L. Exercise and the immune system: regulation, integration, and adaptation. *Physiol Rev.* 2000;80(3):1055–81.
5. Lehmann M, Keul J. Age-associated changes of exercise-induced plasma catecholamine responses. *Eur J Appl Physiol.* 1986;55(3):302–6.
6. Duclos M, Corcuff JB, Arsac L, Moreau-Gaudry F, Rashedi M, Roger P, et al. Corticotroph axis sensitivity after exercise in endurance-trained athletes. *Clin Endocrinol (Oxf).* 1998;48(4):493–501.
7. Labsy Z, Prieur F, Le Panse B, Do MC, Gagey O, Lasne F, et al. The diurnal patterns of cortisol and dehydroepiandrosterone in relation to intense

- aerobic exercise in recreationally trained soccer players. *Stress Amst Neth.* 2013;16(2):261–5.
8. Vining RF, McGinley RA. The measurement of hormones in saliva: possibilities and pitfalls. *J Steroid Biochem.* 1987;27(1–3):81–94.
  9. Bell G, Syrotuik D, Socha T, Maclean I, Quinney HA. Effect of Strength Training and Concurrent Strength and Endurance Training on Strength, Testosterone, and Cortisol. *J Strength Cond Res.* 1997;11(1):57.
  10. Henckens MJAG, van Wingen GA, Joëls M, Fernández G. Time-dependent effects of cortisol on selective attention and emotional interference: a functional MRI study. *Front Integr Neurosci.* 2012;6:66.
  11. Heaney JLJ, Carroll D, Phillips AC. DHEA, DHEA-S and cortisol responses to acute exercise in older adults in relation to exercise training status and sex. *Age.* 2013 Apr;35(2):395–405.
  12. Dickerson SS, Kemeny ME. Acute stressors and cortisol responses: a theoretical integration and synthesis of laboratory research. *Psychol Bull.* 2004;130(3):355–91.
  13. van Ast VA, Cornelisse S, Marin M-F, Ackermann S, Garfinkel SN, Abercrombie HC. Modulatory mechanisms of cortisol effects on emotional learning and memory: novel perspectives. *Psychoneuroendocrinology.* 2013;38(9):1874–82.
  14. Lupien SJ, Maheu F, Tu M, Fiocco A, Schramek TE. The effects of stress and stress hormones on human cognition: Implications for the field of brain and cognition. *Brain Cogn.* 2007;65(3):209–37.
  15. Butler K, Klaus K, Edwards L, Pennington K. Elevated cortisol awakening response associated with early life stress and impaired executive function in healthy adult males. *Horm Behav.* 2017;95:13–21.
  16. Guenzel FM, Wolf OT, Schwabe L. Glucocorticoids boost stimulus-response memory formation in humans. *Psychoneuroendocrinology.* 2014;45:21–30.
  17. de Veld DMJ, Riksen-Walraven JM, de Weerth C. Acute psychosocial stress and children's memory. *Stress Amst Neth.* 2014;17(4):305–13.
  18. Quesada AA, Wiemers US, Schoofs D, Wolf OT. Psychosocial stress exposure impairs memory retrieval in children. *Psychoneuroendocrinology.* 2012;37(1):125–36.
  19. Chang Y-K, Etnier JL. Exploring the dose-response relationship between resistance exercise intensity and cognitive function. *J Sport Exerc Psychol.* 2009;31(5):640–56.
  20. Pontifex MB, Hillman CH, Fernhall B, Thompson KM, Valentini TA. The effect of acute aerobic and resistance exercise on working memory. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(4):927–34.
  21. Chang Y-K, Tsai C-L, Huang C-C, Wang C-C, Chu I-H. Effects of acute resistance exercise on cognition in late middle-aged adults: general or specific cognitive improvement? *J Sci Med Sport.* 2014;17(1):51–5.
  22. Chang YK, Labban JD, Gapin JI, Etnier JL. The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Res.* 2012;1453:87–101.
  23. Nicolson N. Measurement of Cortisol. 2008. 37 p.
  24. Brzycki M. Strength Testing—Predicting a One-Rep Max from Reps-to-Fatigue. *J Phys Educ Recreat Dance.* 1993;64(1):88–90.
  25. Haff GG, Nimphius S. Training Principles for Power. *Strength Cond J.* 2012;34(6):2.

26. Mayhew DL, Thyfault JP, Koch AJ. Rest-interval length affects leukocyte levels during heavy resistance exercise. *J Strength Cond Res.* 2005;19(1):16–22.
27. Chatterton RT, Vogelsong KM, Lu YC, Hudgens GA. Hormonal responses to psychological stress in men preparing for skydiving. *J Clin Endocrinol Metab.* 1997;82(8):2503–9.
28. Ahtiainen JP, Pakarinen A, Alen M, Kraemer WJ, Häkkinen K. Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89(6):555–63.
29. Busso T, Häkkinen K, Pakarinen A, Carasso C, Lacour JR, Komi PV, et al. A systems model of training responses and its relationship to hormonal responses in elite weight-lifters. *Eur J Appl Physiol.* 1990;61(1–2):48–54.
30. Heijnen S, Hommel B, Kibele A, Colzato LS. Neuromodulation of Aerobic Exercise—A Review. *Front Psychol [Internet].* 2016;6.
31. McEwen BS, Sapolsky RM. Stress and cognitive function. *Curr Opin Neurobiol.* 1995;5(2):205–16.
32. Bermejo JL, García-Massó X, Paillard T, Noé F. Fatigue does not conjointly alter postural and cognitive performance when standing in a shooting position under dual-task conditions. *J Sports Sci.* 2018;36(4):429–35.
33. Hillman CH, Pontifex MB, Raine LB, Castelli DM, Hall EE, Kramer AF. The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience.* 2009;159(3):1044–54.
34. Joëls M, Pu Z, Wiegert O, Oitzl MS, Krugers HJ. Learning under stress: how does it work? *Trends Cogn Sci.* 2006;10(4):152–8.
35. Crabbe JB, Dishman RK. Brain electrocortical activity during and after exercise: a quantitative synthesis. *Psychophysiology.* 2004;41(4):563–74.
36. Bermejo JL, Couto BR do, Marco-Ahulló A, Villarrasa-Sapiña I, Garcia-Masso X. Effects of an incremental maximal endurance exercise stress-induced cortisol on cognitive performance. *J Hum Sport Exerc.* 2019;14(3):632–44.
37. Kleider HM, Parrott DJ. Aggressive shooting behavior: How working memory and threat influence shoot decisions. *J Res Personal.* 2009;43(3):494–7.
38. Soga K, Shishido T, Nagatomi R. Executive function during and after acute moderate aerobic exercise in adolescents. *Psychol Sport Exerc.* 2015;16:7–17.
39. Brisswalter J, Collardeau M, René A. Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Med Auckl NZ.* 2002;32(9):555–66.
40. Furley PA, Memmert D. The role of working memory in sport. *Int Rev Sport Exerc Psychol.* 2010;3(2):171–94.
41. Gallego NMS, Maldonado SV, Abellán J, Contreras OR. El entrenamiento perceptivo de bloqueadoras juveniles de voleibol. *Rev Int Med Cienc Act Física Deporte.* 2019;18(69):135–50.

**Número de citas totales / Total references:** 41 (100%)

**Número de citas propias de la revista / Journal's own references:** 41 (100%)

PENDIENTE DE PUBLICACIÓN / IN PRESS