



FACULTAD DE EDUCACIÓN Y SALUD

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

**EFFECTOS DE DIFERENTES ESTRATEGIAS PRECOMPETITIVAS PARA
AUMENTAR EL RENDIMIENTO DEPORTIVO EL PROPIO DÍA DE LA
COMPETICIÓN: EJERCICIOS PRIMING E INGESTA DE CAFEÍNA**

AUTOR

JAIME GONZÁLEZ GARCÍA

DIRECTORA

Dra. BLANCA ROMERO MORALEDA

TUTOR

Dr. JUAN JOSÉ SALINERO

Madrid 2022

AGRADECIMIENTOS

Hace un tiempo descubrí una palabra que describe una filosofía que ha organizado muchos de mis pensamientos, comportamientos y relaciones personales: “Ubuntu”. Esta filosofía procedente del sur de África lleva como mantra “yo soy porque nosotros somos”. Y no podría estar más de acuerdo. En un entorno donde la competitividad, las aspiraciones y el individualismo gobiernan quizá sea momento de cambiar el prisma y empezar a ver con otra perspectiva y elegir de forma diferente nuestro círculo cercano. Acerquémonos al compañerismo, la empatía y la cooperación para generar espacios con mayor humanidad. Y os preguntaré, ¿a qué viene todo esto? Muy sencillo, soy lo que me habéis transmitido, enseñado y hecho madurar en todo el proceso de esta Tesis Doctoral y sobre todo, a lo largo de mi vida. Por ello quiero agradecer, desde lo formal a lo visceral, este crecimiento y el poder haber estado rodeado de personas que, a mi juicio, sois Ubuntu. Espero estar a la altura y que nadie que haya participado de manera directa o indirecta en este proceso quede olvidado. Soy porque sois conmigo.

En primer lugar, me gustaría agradecer a todo el personal docente de la Universidad Camilo José Cela por sembrar en mí una semilla que poco a poco ha germinado hasta culminar en esta Tesis Doctoral. También a la propia Universidad por brindarme la oportunidad de disfrutar un beca predoctoral con la que comenzó este proceso. A los profesores del Máster en Ciencias del Deporte de la UPM. Allí descubrí que no estaba volando demasiado alto, que la tesis no era algo utópico, que era una oportunidad real, alcanzable. Me disteis mis primeras herramientas y conocimientos para conseguirlo. Los primeros pasos de esta Tesis Doctoral comenzaron aquí. A mis compañeros de laboratorio, aunque algunos hayan volado del nido. Vero, Carlos, Jorge, Diego, Gabri, Millán, cada duda, debate, café, ha sido productivo. Me hacéis mejor profesional. Los caminos nos volverán a cruzar. ¡Larga vida a la cafeína!

Gracias Juanjo, sin tu ayuda esta Tesis Doctoral estaría todavía pendiente de ser depositada. Muchas gracias de verdad, por tu bondad, sacrificio y predisposición. Es un lujo enorme haber podido trabajar contigo y aprender de ti. Quizá algo que no sabes es que siendo mi profesor plantaste una pequeña semilla de estadística que poco a poco ha ido germinando a lo largo de estos años. También por ello, millones de gracias.

Gracias Blanca. Representas la calidad humana, el liderazgo, el esfuerzo y la perseverancia. Gracias por toda la confianza que has depositado en mí todos estos años. Desde 2015, cuando era un jovencito en 2º de carrera. Gracias por contar conmigo ese verano para el proyecto de los foam rollers (todavía recuerdo esas DOMS y como nos llamaste quejicas). Gracias por aceptarme como “esclavo” en el Madrid CFF, por introducirme al precioso mundo del fútbol femenino y por todas las oportunidades que me has ido dando. Por hacerme crecer, por apretarme las tuercas cuando era necesario, por dirigir mi TFG, mi TFM y esta Tesis. Gracias Jefa, eres un espejo donde mirarme.

Gracias a la familia que he elegido: Esther, Víctor, José, Sara, Andrés. No puedo estar más orgulloso ni más feliz por teneros cerca. Gracias por los viajes, vacaciones, festivales, aperitivos al sol y nuestros viernes de Gascu, han sido salvavidas en más de una ocasión. Gracias por compartir este camino conmigo, y las milnueve, también. Sois fantasía.

Mamá, papá, Diego... Ningún tipo de agradecimiento que pueda escribir podrá ni de lejos acercarse a lo que merecéis. Mi núcleo fuerte, mi familia. Nunca podré devolveros toda la inversión de tiempo, esfuerzo y dinero que pusisteis en mi para poder llegar a cumplir mis sueños. Sin ningún tipo de dudas me habéis dejado, y ayudado, a crecer. Siempre estaré en deuda porque sin vosotros no sería quien soy, y mucho menos, estar dónde estoy. Gracias por toda la libertad y confianza que he recibido en todo momento. Os quiero con todas mis fuerzas.

Y a ti, Miriam... Compañera de vida. Me haces sentir la persona más especial del mundo. Sólo tú conoces la realidad que hay detrás de toda esta Tesis Doctoral, la auténtica realidad. Has vivido los momentos de enfado, los de mal humor, los agobios y los días siendo un zombie por no dormir bien en los que no me soporto ni yo. Pero también me has dejado compartir contigo la ilusión tras cada artículo publicado, tras cada buena noticia, cada cena, cada momento compartido. Gracias por dejarme ser parte de tu vida. Ese es y siempre será mi mayor logro. Me haces ser mejor persona cada día. Te quiero.

ÍNDICE

Abreviaturas y símbolos	9
Índice de tablas	11
Índice de figuras	13
1. Resumen	15
2. Abstract	17
3. Introducción	19
3.1. Proceso estímulo-respuesta-adaptación	19
3.2. Actividades precompetitivas: en búsqueda de la mejora del rendimiento deportivo en el momento de la competición	24
3.3. Potenciación post-activación (PAP) y mejora del rendimiento post-activación (PAPE)	25
3.4. Sesiones Priming	27
3.4.1. Efectos de las sesiones priming sobre marcadores de rendimiento deportivo	29
3.4.2. Efectos de las sesiones priming sobre la producción de fuerza y la función neuromuscular	43
3.4.3. Efectos de las sesiones priming sobre el sistema endocrino y las respuestas hormonales	52
3.4.3.1. Testosterona y cortisol	52
3.4.3.2. Creatina quinasa (CK)	64
3.4.3.3. Lactato	65
3.4.4. Efectos de las sesiones priming sobre el estrés y la recuperación percibida	67
3.5. Ayudas ergogénicas: ingesta de cafeína	72
4. Objetivos e hipótesis	75
4.1. Objetivos	75
4.1.1. Objetivo general	75
4.1.2. Objetivos específicos	75
4.2. Hipótesis	76

5. Estudios que conforman la Tesis Doctoral	77		
5.1. Estudio 1. EFECTOS DE POTENCIACIÓN TARDÍA SOBRE EL RENDIMIENTO NEUROMUSCULAR TRAS EJERCICIOS PRIMING CON CARGA ÓPTIMA Y CON ALTA CARGA EXTERNA	80		
5.1.1. Objetivos del estudio	80		
5.1.2. Material y métodos	80		
5.1.2.1. Participantes	80		
5.1.2.2. Diseño experimental	80		
5.1.2.3. Sesiones de familiarización	81		
5.1.2.4. Condiciones experimentales	81		
5.1.2.5. Pruebas y mediciones	82		
5.1.2.6. Mediciones con carga baja	83		
5.1.2.7. Mediciones con carga moderada y alta	83		
5.1.2.8. Análisis estadístico	83		
5.1.3. Resultados	84		
5.2. Estudio 2. LA INGESTA DE 3MG/KG DE CAFEÍNA INCREMENTA EL RENDIMIENTO EN SALTOS VERTICALES UNILATERALES Y BILATERALES EN ATLETAS DE JIU-JITSU TRADICIONAL DE ÉLITE	88		
5.2.1. Objetivos del estudio	88		
5.2.2. Material y métodos	88		
5.2.2.1. Procedimientos experimentales	89		
5.2.2.2. Análisis estadístico	93		
5.2.3. Resultados	93		
5.2.3.1. CMJ bilateral	93		
5.2.3.2. CMJ unilateral	96		
5.3. Estudio 3. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA RECUPERACIÓN Y RENDIMIENTO DEL SALTO VERTICAL TRAS UN EJERCICIO PRIMING SÓLO O CON INGESTA SIMULTÁNEA DE CAFEÍNA	104		
5.3.1. Objetivos del estudio	104		
5.3.2. Metodología	104		
5.3.2.1 Participantes	105		
5.3.2.2 Diseño experimental	105		
5.3.2.3. Variables del CMJ y de percepción subjetiva del estrés y recuperación	107		
5.3.2.4. Análisis estadístico	109		
5.3.3. Resultados	110		
5.3.3.1. CMJ	110		
5.3.3.2. Percepción subjetiva del estrés y recuperación	118		
5.4 Estudio 4. EFECTOS DE UN EJERCICIO PRIMING SOBRE EL RENDIMIENTO DEL SALTO VERTICAL A LO LARGO DEL MISMO DÍA Y SU RELACIÓN CON LOS NIVELES DE FUERZA DINÁMICA	120		
5.4.1. Objetivos del estudio	120		
5.4.2. Metodología	120		
5.4.2.1. Participantes	120		
5.4.2.2. Diseño experimental	121		
5.4.2.3. Análisis estadístico	124		
5.4.3. Resultados	124		
6. Discusión	133		
6.1. Efectos de las estrategias precompetitivas sobre los marcadores de rendimiento deportivo	133		
6.1.1. Efectos de los ejercicios priming a lo largo del mismo día sobre los marcadores de rendimiento	134		
6.1.2. Efectos de la ingesta de cafeína sobre el CMJ	137		
6.1.3. Efectos del ejercicio priming junto con la ingesta de cafeína	139		
6.2. Efectos de las estrategias precompetitivas sobre la percepción subjetiva de estrés y recuperación	140		
6.3. Relación entre la fuerza muscular y la respuesta a los ejercicios priming	141		
7. Limitaciones	145		
8. Conclusiones	147		
8.1. Estudio 1	147		
8.2. Estudio 2	147		
8.3. Estudio 3	147		
8.4. Estudio 4	147		
9. Conflicto de intereses	149		
10. Referencias	151		
11. Anexos	173		

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

VO₂ : Consumo de oxígeno	LICI : <i>Long interval cortical inhibition</i>
X%RM : Porcentaje de la repetición máxima	M₁ : Corteza motora primaria
1RM : Repetición máxima	MDC : <i>Minimum detectable change</i>
AB : <i>Activation balance</i>	MEP : <i>Maximal evoked potential</i>
ADP : Adenosín difosfato	Mmax : <i>Maximum compound wave</i>
ANOVA : <i>Analysis of variance</i>	MP : <i>Mean power</i>
ATPasa : Adenosintrifosfatasa	MPC : <i>Mental performance capability</i>
BM : <i>Body mass</i>	MV : <i>Mean velocity</i>
BP : <i>Bench press</i>	MVIC : <i>Maximal voluntary isometric contraction</i>
BS : <i>Back squat</i>	N : Newtons
C : Cortisol	OL : <i>Optimal load</i>
CA : <i>Conditioning activity</i>	OS : <i>Overall stress</i>
CI : <i>Confidence interval</i>	PAP : <i>Post-activation potentiation</i>
CK : Creatina quinasa	PAPE : <i>Post-activation performance enhancement</i>
CMJ : <i>Countermovement jump</i>	PCr : Fosfato de creatina
COI : Comité Olímpico Internacional	PPC : <i>Physical performance capability</i>
COM : <i>Center of mass</i>	R : Correlación de Pearson
CON : Control	RFD : <i>Rate of force development</i>
CSP : <i>Corticospinal silent period</i>	RPE : <i>Rate of perceived exertion</i>
<i>d</i> : <i>d</i> de Cohen	RSImod : <i>Reactive strength index modified</i>
DJ : <i>Drop jump</i>	SD : <i>Standard deviation</i>
EMG : Eletromiografía	SEM : <i>Standard error of the measurement</i>
FC : Frecuencia cardíaca	SICI : <i>Short interval cortical inhibition</i>
FSH : Hormona foliculoestimulante	SJ : <i>Squat jump</i>
FT:CT : <i>Flight time dividido contraction time</i>	SNC : Sistema nervioso central
GH : Hormona del crecimiento	SRSS : <i>Short recovery and stress scale</i>
GnRH : Hormona liberadora gonadotropina	SWC : <i>Smallest worthwhile change</i>
HIIT : <i>High intensity Interval training</i>	T : Testosterona
Hz : Hercios	ES : <i>Effect size</i>
ICC : <i>Intraclass correlation coefficient</i>	TT : <i>Time trial</i>
ICF : <i>Intracortical facilitation</i>	VL : <i>Velocity loss</i>
IGF : <i>Insulin growth factor</i>	vVO₂max : Velocidad asociada al VO ₂ max
IMC : Índice masa corporal	WADA : <i>World Anti-Doping Agency</i>
JCR : <i>Journal citation report</i>	η_p^2 : Eta cuadrado parcial
JS : <i>Jump squat</i>	Δ : Delta
La : Lactato	
HL : Hormona luteinizante	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características principales de las sesiones priming.	28
Tabla 2. Resumen de los efectos de los ejercicios priming en los marcadores de rendimiento deportivo.	30
Tabla 3. Resumen de los efectos de los ejercicios priming en la producción de fuerza y la función neuromuscular.	46
Tabla 4. Resumen de los efectos de los ejercicios priming en el metabolismo y el sistema endocrino.	54
Tabla 5. Resumen de los efectos de los ejercicios priming en los marcadores subjetivos de esfuerzo, estrés y recuperación.	68
Tabla 6. Publicaciones JCR derivadas de los estudios llevados a cabo.	77
Tabla 7. Resumen del diseño, variables y resultados principales de los estudios.	78
Tabla 8. Características de los ejercicios priming del estudio 1.	82
Tabla 9. Valores de las variables de rendimiento deportivo tras los ejercicios priming del estudio 1.	85
Tabla 10. Reproducibilidad de las variables de rendimiento, cinéticas y cinemáticas del CMJ bilateral y unilateral.	90
Tabla 11. Diferencias entre las condiciones Cafeína y Placebo en las variables del CMJ bilateral. // CMJ: <i>Countermovement jump</i> .	94
Tabla 12. Diferencias entre las condiciones Cafeína y Placebo en las variables del CMJ unilateral. // CMJ: <i>Countermovement jump</i> .	100
Tabla 13. Características de los ejercicios priming del estudio 3.	106
Tabla 14. Reproducibilidad de las variables dependientes del estudio 3.	108
Tabla 15. Cambio porcentual en las variables del salto vertical a lo largo del día tras las condiciones Priming, PrimingCaf y Control.	112
Tabla 16. Evolución temporal y diferencias en el SRSS tras las condiciones Priming, PrimingCaf y Control.	119

Tabla 17. Características del ejercicio priming del estudio 4.	122
Tabla 18. Reproducibilidad de las variables dependientes del estudio 4.	123
Tabla 19. Diferencias en las variables cinéticas y cinemáticas del CMJ entre las condiciones Priming y Control.	125
Tabla 20. Relación entre el cambio porcentual en la altura de salto y el cambio en las variables cinéticas y cinemáticas de salto 6h después del ejercicio priming.	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ilustración de la teoría del síndrome general de adaptación de Seyle.	21
Figura 2. Modelo de supercompensación y fases. Adaptado de Bompa y Haff ¹ .	21
Figura 3. Potenciales lugares involucrados en el proceso de aparición de fatiga. Extraído de Enoka y Duchateau ² .	23
Figura 4. Cambio porcentual individual (líneas) y medio (barras) en la altura de salto en el CMJ tras las diferentes condiciones.	85
Figura 5. Cambio porcentual individual (líneas) y medio (barras) en la velocidad y potencia medias con OL y 80%1RM tras las diferentes condiciones.	87
Figura 6. Curvas Fuerza-Tiempo, Velocidad-Tiempo y fases del CMJ de un participante representativo.	92
Figura 7. Media, SD, ES y respuestas individuales entre las condiciones de placebo y cafeína en el salto bilateral (a-c) y media, SD y ES entre las condiciones de placebo y cafeína en los saltos unilaterales en sus diferentes fases (d-f).	97
Figura 8. Diagrama de flujo del protocolo experimental del estudio 3.	105
Figura 9. Cambios individuales en las variables principales del CMJ tras las diferentes condiciones (Priming, PrimingCaf y Control) en los momentos temporales evaluados.	111
Figura 10. Diagrama de flujo del protocolo experimental del estudio 4.	121
Figura 11. Cambio medio (barras) e individual (formas), expresado como porcentaje de cambio respecto los valores preejercicio (eje y), en la altura de salto (Panel A), velocidad pico concéntrica (Panel B), el impulso concéntrico (Panel C) y la fuerza concéntrica/BM (Panel D) tras las condiciones experimentales (Priming y Control).	129
Figura 12. A) Relación entre 1RM absoluta en media sentadilla y el cambio en las variables del CMJ en la evaluación post, y B) relación entre 1RM absoluta en media sentadilla y el cambio en las variables del CMJ a las seis horas.	130
Figura 13. Cambios en los niveles de estrés y recuperación percibidos tras las condiciones Priming y Control.	132

1. RESUMEN

El entrenamiento de fuerza ha demostrado incrementar el rendimiento neuromuscular en el medio-largo plazo. Sin embargo, realización de ejercicios de fuerza en las horas previas a la competición (ejercicios priming) o la ingesta de cafeína pueden incrementar el rendimiento deportivo de forma aguda. Dados los potenciales efectos beneficiosos de ambas estrategias, el objetivo de la presente tesis doctoral fue identificar los efectos que producen diferentes configuraciones de sesiones priming, con o sin ingesta de cafeína asociada, así como el efecto aislado de la cafeína sobre marcadores de rendimiento deportivo y el estado percibido de recuperación y estrés de los participantes.

El estudio 1 tuvo como objetivos identificar y comparar los efectos de dos sesiones priming con diferentes cargas externas sobre el CMJ, la velocidad de ejecución ante cargas externas moderadas y altas en sentadilla, así como el estrés y recuperación percibidos. Observamos que el ejercicio priming con el 80%RM incrementó la altura de CMJ y la velocidad de ejecución y la potencia en sentadilla con el 80%RM, sin modificar la percepción subjetiva de los participantes.

En el estudio 2 se buscó identificar los efectos de 3mg/kg de cafeína sobre las variables de rendimiento, la cinética, la cinemática y la estrategia de salto tanto en saltos bilaterales como unilaterales. Comparado con el placebo, la ingesta de cafeína incrementó el impulso concéntrico aumentando el salto vertical bilateral. También se incrementó el RSI_{mod} en los saltos unilaterales con ambas piernas. La cafeína en atletas de élite de jiu-jitsu es una ayuda ergogénica recomendada ya que aumentó el rendimiento de los saltos verticales bilaterales y unilaterales, estando estos aumentos acompañados por un menor tiempo de contracción en las diferentes fases del salto.

El estudio 3 tuvo como objetivo analizar la evolución a lo largo del mismo día del rendimiento, la cinética, la cinemática y la estrategia en el CMJ, así como la percepción subjetiva del estrés y la recuperación tras un ejercicio priming de forma aislada o en combinación con la ingesta de 3mg/kg de cafeína. El estrés y recuperación percibidos se incrementaron a las 6h tras el ejercicio priming con o sin ingesta de cafeína. Sin embargo, no observamos un aumento del rendimiento en salto vertical tras ambas condiciones, aunque la mayoría de los participantes vieron recuperada, e incluso incrementada, su capacidad de salto a las 6h.

El objetivo del estudio 4 fue identificar si un ejercicio priming de bajo volumen, controlando la pérdida de velocidad de ejecución, incrementa el rendimiento en el salto vertical y mejora el estado de estrés y recuperación percibidos, así como determinar si existe relación entre la respuesta al ejercicio y los niveles de fuerza de los participantes. El

uso de una sesión priming con el 80%1RM no aumentó el rendimiento en el CMJ pero sí mejoró la percepción subjetiva para realizar una actividad física seis horas después de su finalización. El análisis de respuestas individuales mostró que 10/14 participantes recuperaron o incrementaron el rendimiento en el salto vertical. Además, existió una relación con los niveles de fuerza máxima absoluta (1RM sentadilla), pero no con la relativa al peso corporal.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los cuatro estudios, el uso de ejercicios priming con las características descritas parece ser una estrategia útil para incrementar el estado de estrés y recuperación percibidas tras seis horas de recuperación. La ingesta de 3mg/kg de cafeína incrementa el rendimiento en saltos verticales y unilaterales cuando es consumida de forma aislada. En cambio, los efectos ergogénicos de la cafeína sobre el salto vertical no parecen ser efectivos cuando se realiza la ingesta tras la realización de un ejercicio priming durante la mañana. Teniendo en cuenta las diferentes respuestas individuales observadas y la relación que presenta la recuperación y potenciación tardía tras los ejercicios priming con las variables del salto vertical, los deportistas pueden considerar la realización de ejercicios de priming de bajo volumen y mínima fatiga para aumentar el rendimiento del salto vertical el día de la competición, siempre y cuando se identifique previamente si su uso tiene efectos beneficiosos sobre el rendimiento individual.

2. ABSTRACT

One of the main objectives of sports staffs is to increase physical performance at the time of competition. While periodized resistance training have been demonstrated as an effective strategy to increase different physical capabilities in the medium to long term, an additional window to increase performance transiently has also been suggested using exercise-based or nutritional strategies. The use of priming exercises is receiving recent attention as may increase different physical capacities related to sports performance. These kinds of tasks are performed 2 to 48 hours before a competition with the aim to acutely increase physical performance by the time of the competition. Athletes may also ingest caffeine prior to competition because of its possible ergogenic effect on aerobic and anaerobic capacities, as well as on muscular strength and power production.

Given the potential beneficial effects of both strategies, the aim of this doctoral thesis was to identify the within-day effects of different priming exercises configurations, with or without concurrent caffeine intake, on different physical performance markers and the perceived readiness of the participants.

Study 1 aimed to identify and compare the effects of two priming sessions, with different external loads, on CMJ, velocity and mechanical power with moderate and high external loads during squat, as well as the perceived readiness at 6h after exercise. We observed that priming exercise with 80%RM increased CMJ height, movement velocity and mechanical power with 80%RM without increasing the participants' perceived readiness.

Study 2 aimed to identify the effects of 3mg/kg caffeine on performance, kinetics, kinematics and jumping strategy in both bilateral and unilateral jumps. Compared to placebo during bilateral jumping, caffeine intake increased concentric impulse leading to a higher jump height. RSI_{mod} was also increased in unilateral jumps with both legs. The intake of 3mg/kg of caffeine is recommended as it increased bilateral and unilateral vertical jump performance, being these increases executed with a shorter contraction time.

Study 3 aimed to analyze the within-day time-course of performance, kinetics, kinematics, and execution strategy in the CMJ, as well as the subjective readiness after a priming exercise alone or in combination with caffeine. Participants' readiness was increased at 6h after exercise priming with or without caffeine intake. However, we did not observe a generalized increase in vertical jump performance after both conditions, although most participants completely recovered or also increased their jumping ability at 6h.

The objective of study 4 was to identify the effects of a low-volume and high-loaded priming exercise, using velocity loss to control fatigue, on CMJ metrics and subjective readiness, and to identify whether baseline muscular strength influenced these outcomes. The use of a priming session with 80%1RM did not generally increase CMJ performance, but it did improve the perceived readiness to perform a physical activity 6 hours after its completion. The analysis of the individual responses showed that 10/14 participants recovered or also increased vertical jump outcomes. In addition, there was a relationship between changes in performance and muscular absolute strength levels (1RM squat), but not with strength relative to body weight.

Taken collectively, the use of resistance based priming exercises with the described characteristics seems to be a useful strategy to increase the perceived readiness after 6 hours of recovery. The intake of 3mg/kg of caffeine increases performance in vertical and unilateral jumps. However, the ergogenic effects of caffeine on vertical jumping do not seem to be effective when ingested after a priming exercise was carried out in the morning. Considering the different individual responses and the relationship of recovery and delayed potentiation after priming exercises on vertical jump outcomes, coaches may consider using low volume, minimally fatiguing priming exercises to increase vertical jump performance on competition day. We suggest to first evaluate individual effects outside of the competition period to identify those athletes who may benefit from this strategy before implementation into a competition preparation setting.

3. INTRODUCCIÓN

3.1. PROCESO ESTÍMULO-RESPUESTA-ADAPTACIÓN

Con el fin de conseguir aumentar el rendimiento es fundamental la gestión adecuada de la carga de entrenamiento en conjunto, con estrategias de recuperación³, nutricionales⁴ y psicológicas⁵, para garantizar un rendimiento óptimo en las competiciones. Para poder alcanzar este objetivo, los profesionales del deporte comenzaron a realizar una aproximación más científica del entrenamiento que permitiera comprender los mecanismos biológicos, así como las adaptaciones que ocurren tras él¹, generando una organización de los entrenamientos que permita optimizar el rendimiento de los deportistas⁶. Por ello, el entrenamiento es considerado un proceso estructurado en el que el organismo es sometido a constantes estímulos que tienen como objetivo aumentar el rendimiento deportivo¹. La capacidad que presentan los deportistas para salir de la homeostasis y retornar a ella tras estos estímulos (carga de entrenamiento/competición) marcará su capacidad de adaptación. En el caso de los deportistas que no logran adaptarse a las cargas de entrenamiento, a los factores de estrés asociados al entrenamiento y la competición, pueden aparecer niveles críticos de fatiga, sobreesfuerzo o incluso sobreenentrenamiento⁶ que impedirá a estos deportistas alcanzar su rendimiento óptimo⁷. Cada entrenamiento va a generar una respuesta en el organismo del deportista (efecto del entrenamiento) y puede clasificarse en tres categorías¹:

- **Efecto inmediato del entrenamiento:** son las respuestas fisiológicas que suceden durante el entrenamiento e inmediatamente después, sin dar lugar a una recuperación posible. Por ejemplo, durante entrenamientos realizados en cicloergómetro a intensidad de potencia crítica y durante una contrarreloj de 5km se producen incrementos a lo largo del tiempo en el consumo de oxígeno (VO_2), en la concentración de lactato en sangre y en la frecuencia cardíaca (FC)⁸, así como en el volumen ventilatorio y la frecuencia de ventilación⁹. Del mismo modo, protocolos de entrenamiento basados en intervalos de alta intensidad (HIIT) o de entrenamiento de fuerza produjeron incrementos en los niveles de cortisol, α -amilasa, concentración de lactato y la escala de esfuerzo percibido en los 5-10 minutos siguientes a la finalización de los estímulos¹⁰.

- **Efecto retardado del entrenamiento:** aquí se clasificarían aquellas respuestas al ejercicio que ocurren desde el comienzo de la recuperación tras la finalización del entrenamiento hasta la vuelta a la homeostasis o hasta la introducción de un nuevo estímulo. A pesar de que el efecto más inmediato del entrenamiento es la aparición de fatiga tras el esfuerzo¹¹, según desaparece esa fatiga (recuperación) se muestran los efectos beneficiosos producidos por el entrenamiento. Sin embargo, las fluctuaciones entre fatiga y

rendimiento dependerán del estímulo introducido durante el entrenamiento necesitando de mayores tiempos de recuperación según aumenta el estrés sufrido por el organismo¹². En el caso del entrenamiento de fuerza, mayores volúmenes de entrenamiento realizados hasta el fallo muscular resultan en una mayor reducción inmediata de la capacidad de salto y la velocidad de ejecución ante cargas, así como una mayor respuesta hormonal acompañada de incrementos en la creatina quinasa (CK). Además, los tiempos de recuperación también se alargan, mostrando una capacidad reducida de salto vertical hasta pasadas 48h tras la realización de tres series de 12, 10 y 8 repeticiones con el 70, 75 y 80%1RM, respectivamente; mientras que la realización de la mitad de las repeticiones posibles por serie mostró que la capacidad de salto se recuperó por completo a las 6h¹².

• **Efecto acumulado:** es el resultado de las adaptaciones producidas ante varias sesiones o fases de entrenamiento. Es decir, son las adaptaciones sobre los diferentes sistemas que se producen con el entrenamiento a largo plazo. En este sentido, la tipología de los estímulos de entrenamiento proporcionados marcará las adaptaciones sufridas. Por ejemplo, dos sesiones a la semana durante 10 semanas de entrenamiento con un protocolo HIIT de intervalos largos (5-8 intervalos a la velocidad asociada al VO_2max [vVO_2max] con una duración de ~3.3 minutos) disminuyó el tiempo en 3.000m un 7,8% con incrementos asociados en el VO_2max (+9,1%), el tiempo hasta la extenuación a la vVO_2max (+35.0%) y la velocidad asociada al umbral de lactato (+11,7%)¹³. Mientras que la realización de cuatro entrenamientos semanales de fuerza basados en press banca y press de pierna durante 12 semanas aumentó en un 10-18% la 1RM en press de pierna y en un 15-16% la 1RM en press de banca¹⁴.

Estos efectos del entrenamiento se sustentan gracias al fenómeno de supercompensación que posteriormente se renombraría como teoría del síndrome general de adaptación¹⁵ para ser adaptado posteriormente por Bompa y Haff¹ (figura 1). Cuando entrena, el atleta está sometido a un estímulo que generará un estrés (respuesta) en el organismo y que repercute de forma aguda sobre diferentes sistemas como pueden ser el metabólico^{16,17}, hormonal¹⁸, cardiovascular¹⁹, neuromuscular^{20,21} y celular²², estando estas respuestas sujetas a las características del estímulo de entrenamiento²⁰ y a las características previas de los deportistas^{23,24}. Estas respuestas fisiológicas al entrenamiento pueden resultar en una acumulación de fatiga que precisará de un tiempo de recuperación que será individual en función del estímulo proporcionado¹² y al/los sistemas/s que haya afectado²⁵⁻²⁷. Posteriormente, se producirá una fase de compensación donde se produce la disipación de la fatiga producida por el estímulo que vendrá seguida de un aumento transitorio del rendimiento deportivo si se establece un periodo de recuperación adecuado (supercompensación). Cada vez que se produce una supercompensación, el deportista establece un nuevo nivel homeostático con beneficios positivos para el entrenamiento y el rendimiento. Si durante esta última fase no se introduce un nuevo estímulo, la supercompensación se desvanecerá, dando lugar a una reducción en el rendimiento (Figura 1)¹.

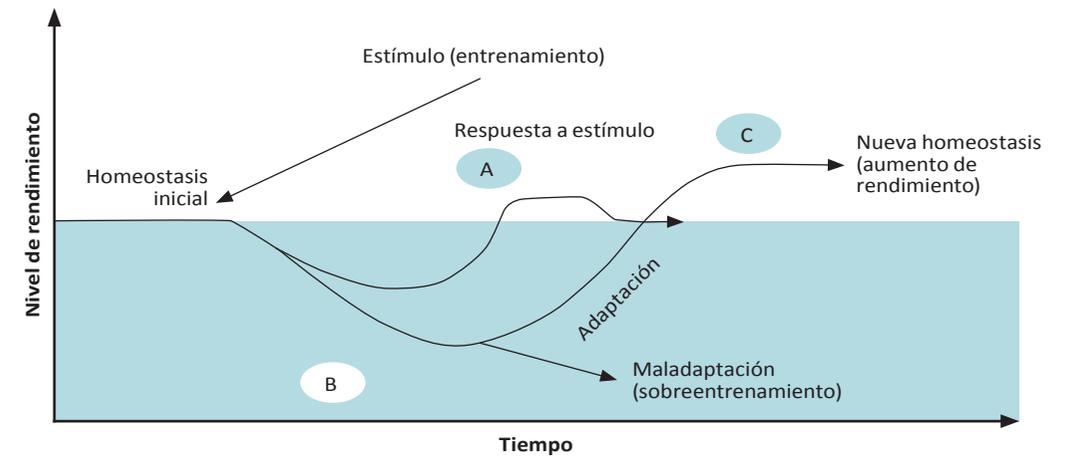


Figura 1. Ilustración de la teoría del síndrome general de adaptación de Seyle. A) Respuesta típica a un estímulo; B) Maladaptación al entrenamiento; C) Nueva homeostasis con adaptación positiva. Adaptado de Bompa y Haff¹.

De acuerdo con Bompa y Haff¹ el ciclo de supercompensación consta de cuatro fases con una secuencia y duraciones determinadas (Figura 2):

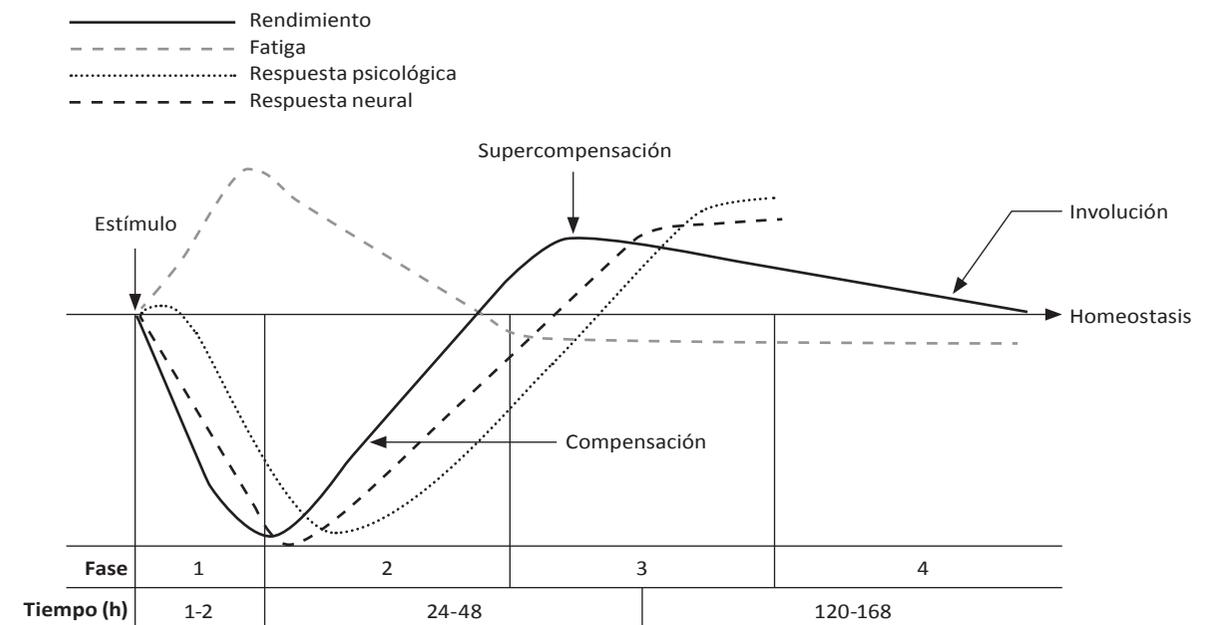


Figura 2. Modelo de supercompensación y fases. Adaptado de Bompa y Haff¹.

La fase inicial tras la exposición del organismo al estímulo de entrenamiento resultará en la aparición de fatiga^{2,11,28-37}. Mientras que este término es familiar para la mayoría de las personas, su definición y concepto engloba una serie de cambios a nivel neurofisiológico^{27,32}, hormonal^{12,25,38} y de acumulación de metabolitos¹⁷ que presentarán implicaciones a la hora de optimizar la programación de estímulos de entrenamiento³⁹ dada su asociación con reducciones de la capacidad contráctil y del rendimiento deportivo^{27,40}. La fatiga ha sido definida como cualquier reducción de la capacidad de ejercer fuerza o rendimiento muscular inducida por el ejercicio, independientemente de que la tarea pueda mantenerse a lo largo del tiempo, o no, y que puede verse revertida con el descanso³². Además, estas reducciones en la producción de fuerza pueden verse acompañadas de reducciones en la motivación percibida y de sensaciones de cansancio y/o malestar². En este sentido, la producción de fuerza muscular va a depender de la contracción de las fibras musculares esqueléticas estando la propia contracción mediada por una cadena de procesos que comienzan en el sistema nervioso central y que terminan en la despolarización de la membrana muscular que posibilita la unión de las cadenas de actina y miosina²⁸.

A pesar de la existencia de diferentes investigaciones que han tratado de identificar la etiología de la fatiga, este proceso no está definido por completo debido a la existencia de multitud de factores implicados³⁵. Sin embargo, existen diferentes modelos que consideran los potenciales lugares donde la capacidad contráctil puede verse afectada^{2,32}. En este sentido la fatiga puede producirse en los niveles altos dentro del sistema nervioso central (SNC), en las rutas descendentes hasta la motoneurona, en los axones motores de la unión neuromuscular, el sarcolema, los túbulos T y, finalmente, en las interacciones de actina y miosina³² (Figura 3).

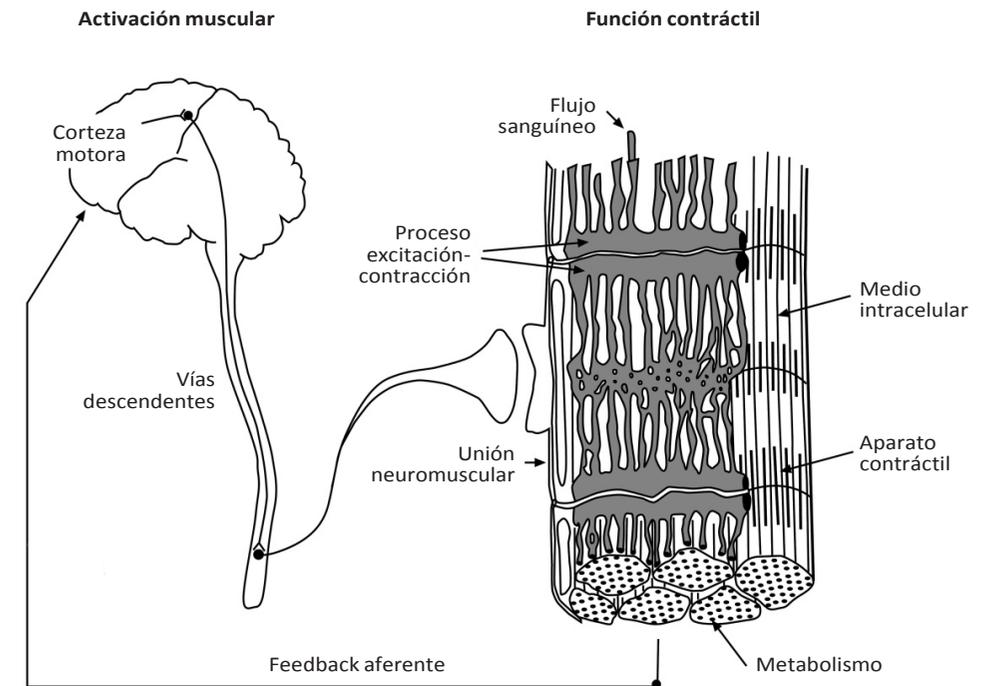


Figura 3. Potenciales lugares involucrados en el proceso de aparición de fatiga. Extraído de Enoka y Duchateau².

La fatiga muscular se ha dividido generalmente en dos componentes principales: central (neural) y periférico (muscular)⁴¹. La fatiga periférica se refiere a los cambios en las unidades motoras y los procesos asociados a los cambios mecánicos y celulares en el sistema muscular^{35,42} mientras que la fatiga central se refiere a los procesos fisiológicos que ocurren dentro del SNC y que influyen en la transmisión del impulso³². En este sentido, la fatiga periférica puede implicar los siguientes lugares y vías: (1) la propia unión neuromuscular²⁸, (2) el proceso de excitación-contracción muscular⁴³ y (3) la activación de los elementos contráctiles que intervienen en la generación de fuerza y de energía^{42,43}, siendo los procesos que componen la fatiga muscular de origen metabólico y no metabólico⁴⁴.

Sin embargo, este modelo presenta una limitación principal. Supone que los ajustes neuromusculares realizados durante la actividad para contrarrestar las disminuciones en la producción de fuerza (y/o rendimiento) son independientes de los procesos implicados en la generación de las sensaciones que la acompañan (feedback). Para integrar las vías sensitivas dentro del modelo de fatiga, Enoka y Duchateau² proponen la siguiente taxonomía donde dividen el concepto de fatiga en dos componentes principales: 1) fati-

gabilidad del rendimiento -la disminución de una o varias medidas objetivas de rendimiento o capacidad fisiológica durante un período discreto de tiempo- y 2) fatigabilidad percibida -cambios en las sensaciones del sujeto que pueden modificar el rendimiento de la tarea realizada²-. Mientras que la fatigabilidad del rendimiento va a depender de la capacidad para mantener la homeostasis en la musculatura activada o en el envío de impulsos a través del SNC, la fatigabilidad percibida va a depender del estado psicológico inicial del individuo y las sensaciones percibidas antes y durante el ejercicio⁴⁵. Existen diferentes ejemplos que identifican la influencia del estado psicológico y la fatigabilidad percibida sobre el rendimiento deportivo. Por ejemplo, se han observado incrementos en el ritmo de récords mundiales de atletismo al final de pruebas de media-larga distancia (5.000m y 10.000m) donde se presupone la existencia de fatiga, estando estos incrementos en el rendimiento asociados a incrementos en la actividad electromiográfica (EMG)⁴⁶, así como a un aumento en la frecuencia y longitud de zancada. Dado que la presente tesis doctoral no tiene como objetivo identificar la etiología de la fatiga ni los modelos generados en torno a ella, se dirige a los lectores a las investigaciones de Enoka y Duchateau², Noakes⁴⁵, Vøllestad³⁶, Fitts³⁵, Twomey *et al.*³³, Taylor *et al.*²⁸, Gandevia³², Wan *et al.*⁴⁷, y Kent-Braun *et al.*⁴², para ampliar información.

Sin embargo, dado que las sesiones precompetitivas usadas en la presente tesis doctoral están basadas en un estímulo de fuerza cuyo objetivo es minimizar la aparición de fatiga y obtener así beneficios en el rendimiento deportivo en el momento de la competición, es necesario establecer un marco teórico que identifique la fatiga producida, así como su recuperación tras este tipo de actividades.

3.2. ACTIVIDADES PRECOMPETITIVAS: EN BÚSQUEDA DE LA MEJORA DEL RENDIMIENTO DEPORTIVO EN EL MOMENTO DE LA COMPETICIÓN

En función del deporte o la modalidad, los deportistas van a tener que realizar saltos, sprints, cambios de dirección, tracciones, empujes y/o lanzamientos. Estas habilidades deportivas tienen un factor en común: la producción de fuerza muscular. La fuerza muscular está definida como la capacidad de ejercer fuerza sobre un objeto o resistencia externa⁴⁸ y, en función del deporte, los atletas tendrán que generar fuerza muscular para superar la resistencia generada por su propio peso (carreras, gimnasia deportiva, etc.), su propia masa muscular más la de un rival (rugby, fútbol americano, lucha libre...) o superar la resistencia externa propuesta por un implemento deportivo (halterofilia, lanzamiento de peso, jabalina, etc.). Debido a su implicación y a la relación que presenta la fuerza (y potencia) muscular con el desempeño de este tipo de tareas⁴⁹⁻⁵³, multitud de investigaciones han tratado de identificar qué efectos producen diferentes configuraciones de entrenamiento sobre la producción de fuerza y potencia musculares^{21,54,55}, siendo

evidente que el entrenamiento de fuerza maximiza las capacidades condicionales de los atletas. De forma tradicional, estos entrenamientos se configuran dentro de una planificación y/o periodización a largo plazo (>3-4 semanas)⁵⁶⁻⁶⁵, aunque diferentes investigaciones han mostrado que la producción de fuerza, así como diferentes marcadores de rendimiento deportivo, pueden verse incrementados de forma transitoria durante minuto⁶⁻⁷¹ y/o horas^{26,72-76} después de una sesión de entrenamiento, presentándose así nuevas oportunidades para mejorar el rendimiento en el momento de la competición. En este sentido aparecen los estímulos que buscan generar potenciación post activación (PAP) y/o un incremento del rendimiento post-activación (PAPE) (actualmente nomenclatura en revisión y debate⁷⁷) o una “potenciación tardía”⁷⁴. Este último efecto se conseguiría con la realización de sesiones precompetitivas (en adelante ejercicios o sesiones “Priming”) que se realizan en las 48-72h previas a la competición y su objetivo es el de maximizar el rendimiento deportivo de forma aguda⁷⁴.

3.3. POTENCIACIÓN POST-ACTIVACIÓN (PAP) Y MEJORA DEL RENDIMIENTO POST-ACTIVACIÓN (PAPE)

En lo que respecta a las mejoras agudas del rendimiento deportivo, la mayoría de la literatura científica ha prestado atención a la posibilidad de que la mejora de los marcadores de rendimiento deportivo pueda lograrse a través de actividades que produzcan PAP y/o PAPE en la musculatura implicada. El PAP se ha definido como un incremento agudo de las características de rendimiento muscular como resultado de la historia contráctil reciente de la musculatura. Este término se usa cuando la actividad muscular ha sido evaluada usando técnicas de interpolación de la contracción. Sin embargo, entrenadores y atletas han utilizado este término para definir aquellos incrementos transitorios en la producción voluntaria de fuerza (o rendimiento deportivo) tras una actividad muscular previa de alta intensidad (Definición de PAPE), a pesar de no haber evaluado directamente la respuesta neurofisiológica de la musculatura “potenciada”. Siguiendo la recomendación de Prieske *et al.*⁷⁷, y debido a la mayor relación que se presenta con el objetivo de esta tesis doctoral, en esta revisión de la literatura sólo incluiremos investigaciones relacionadas con el fenómeno PAPE sobre los marcadores de rendimiento que exigen una alta producción de potencia muscular (saltos, sprints, lanzamientos o actividades balísticas). De hecho, el rendimiento en estas actividades de carácter explosivo viene altamente determinado por la potencia mecánica y la velocidad producida en el sistema (peso corporal + peso implemento)⁷⁸. La posibilidad de incrementar con el PAPE la producción de fuerza ante una determinada velocidad, o disminuir el tiempo en el que se aplica una fuerza sin alterar el desplazamiento (incremento de potencia mecánica)⁷⁹ justifica el uso de las actividades condicionales debido a la relación de estas variables cinéticas y cinemáticas con el rendimiento deportivo en las actividades de carácter explosivo^{49,80}.

Dado que para producir PAPE es necesaria una actividad de acondicionamiento previa (CA), cabe pensar que la fatiga, producida por el estímulo de entrenamiento, convive con la aparición del efecto de potenciación y que, para obtener beneficios en la producción de fuerza muscular, el efecto de potenciación debe ser mayor a la fatiga producida por la CA⁸¹. Del mismo modo, si la fatiga y la potenciación son similares se producirá un mantenimiento del rendimiento muscular. Mientras que, si la fatiga es superior a la potenciación, el rendimiento muscular se verá disminuido. En este sentido, trabajos previos han mostrado que el equilibrio entre fatiga y potenciación va a depender de las características del estímulo de entrenamiento propuesto⁸² así como de las características del individuo que lo realiza⁶⁸. Por ello, dada la relación entre el tipo de estímulo, la resistencia a la fatiga y el PAPE mostrado, existirán diferentes respuestas tras las CA^{82,83}. A día de hoy, algunos estudios de revisión han observado el efecto PAPE sobre diferentes marcadores deportivos^{82,84}. Seitz y Haff⁸² mostraron que el uso de CA, basadas en contracciones dinámicas, presentaron un efecto positivo pero pequeño sobre la capacidad de salto (ES=0,31), lanzamiento (ES=0,28) y rendimiento balístico de tren superior (ES=0,23), mientras que observaron un tamaño de efecto moderado sobre el rendimiento en sprint (ES=0,50). Del mismo modo, la revisión llevada a cabo por Beato *et al.*⁸⁵, sugiere que el uso de sobrecarga excéntrica como CA también genera un PAPE positivo sobre la altura (Δ =+8,5 a +11,3%), potencia pico (Δ =+4,5 a +6,7%), fuerza pico (Δ =+4,2 a +5,7%) e impulso en CMJ (Δ =+5,1 a +5,3%). Por el contrario, Dobbs *et al.*⁸⁴ revisaron el PAPE de diferentes CA de tren inferior con alta carga (>80%1RM) sobre el salto vertical de 636 participantes mostrando que, de forma general, el fenómeno de PAPE no mejoró significativamente la altura de salto (ES = 0,08; 95%CI [-0,04 a 0,21], p = 0,197). Sin embargo, sus resultados mostraron una gran heterogeneidad. Cincuenta y tres de los 179 efectos revisados mostraron un ES>0,2. En este sentido, las variables que presentaron mayor influencia sobre el PAPE en salto vertical tras CA con intensidades altas fueron el tipo de contracción (dinámica vs isométrica) y el tiempo de descanso tras la CA. Atendiendo al tipo de contracción, las contracciones isométricas mostraron un efecto negativo moderado sobre el salto vertical (ES=-0,52; 95%CI [-0,89 a -0,14], p =0,007) en comparación con el efecto trivial de contracciones dinámicas (ES=0,17; 95%CI [0,01 a 0,33], p =0,133) quizá explicado por un aumento de la fatiga tras las contracciones isométricas máximas o porque el reclutamiento de fibras puede ser dependiente de la tarea a realizar (similitud biomecánica)⁸⁶. Por otro lado, el tiempo de descanso desde la finalización de la CA se ha mostrado como la variable más influyente en el PAPE del salto vertical⁸⁴. Descansos menores a tres minutos han mostrado reducciones en el rendimiento en salto vertical (ES=-0,16; 95%CI [-0,31 a 0,01], p =0,052), intervalos de descanso entre 3 y 7 minutos mostraron el mayor incremento, aunque pequeño, en la potenciación de la capacidad de salto vertical (ES=0,18; 95%CI [0,05 a 0,31], p =0,007), mientras que descansos superiores a ocho minutos mostraron efectos triviales sobre el salto vertical (ES=0,03 a 0,04). Sin embargo, el tipo de contracción y el tiempo de descanso no son los únicos factores que modulan el PAPE^{82,86}. En su revisión, Seitz y Haff⁸²

determinaron el efecto de las características de las diferentes AC y las características de los participantes sobre el PAPE de saltos verticales, sprints, lanzamientos y movimientos balísticos. Respecto a las características de los participantes, aquellos sujetos clasificados como “fuertes” (Hombres: 1RM BS/Kg>1,75; 1RM BP/Kg >1,35. Mujeres: 1RM BS/Kg>1,5) presentaron un mayor beneficio de las CA que sus compañeros con menores niveles de fuerza (ES=0,41 vs 0,32). Por otro lado, las características de la CA también modificaron la respuesta PAPE. Según el tipo de CA, las actividades pliométricas y ejercicios tradicionales de alta intensidad presentaron los mayores beneficios (ES=0,47 y ES=0,41, respectivamente). También las sentadillas por encima del paralelo mostraron mayores beneficios sobre el salto vertical que sentadillas profundas (ES=0,58 vs 0,25). Además, el uso de CA con varias series parece más efectivo que la realización de una única serie (ES= 0,69 vs 0,24)⁸². De acuerdo con la literatura revisada, si las CA presentan ciertas características como una elevada carga externa durante contracciones dinámicas y se respetan tiempos de descanso de entre 7 y 12 minutos, se puede incrementar el rendimiento de actividades biomecánicamente similares a la CA.

3.4. SESIONES PRIMING

A pesar de la eficacia de las CA si se aplican correctamente, la pequeña ventana temporal (5-12 minutos) donde ocurre el PAPE y su asociada mejora del rendimiento puede ser un factor limitante para muchos entrenadores y atletas, ya que pueden no tener la capacidad de realizar este tipo de actividades en sus calentamientos. Por esta razón, la investigación ha comenzado a explorar enfoques alternativos para mejorar transitoriamente el rendimiento^{26,72-76,87}. En este sentido aparecen las sesiones priming. Estas actividades están definidas como aquellas actividades que suelen realizarse el mismo día^{75,76,87-90} o el día anterior^{26,72,74,91} a una competición/tarea con el objetivo de producir un aumento transitorio del rendimiento para el momento de la competición. Algunas investigaciones han explorado los efectos de diferentes configuraciones de entrenamiento y tiempos de recuperación desde el final de la sesión priming y el momento de evaluación, encontrando respuestas dispares con efectos sobre el rendimiento potencialmente beneficiosos⁷⁴. En este sentido, diferentes marcadores deportivos han mostrado incrementos tras la realización de este tipo de sesiones en las 2-48 horas previas^{26,72-76,91-95}. Según Harrison *et al.*⁷⁴, el mejor término para describir esta potenciación de las capacidades neuromusculares es el de “potenciación tardía”. Término que usaremos de ahora en adelante para describir los incrementos en el rendimiento.

A pesar de que la mayoría de la literatura científica en torno a las sesiones priming es reciente (~75% de las publicaciones desde 2017), la aplicación de este tipo de sesiones en el alto rendimiento es relativamente alta según en qué deportes⁹⁶. En su estudio de prevalencia, Harrison *et al.*⁹⁶ recabaron la información de 69 cuestionarios respon-

Tabla 1. Características principales de las sesiones priming.

Ejercicio priming en tren inferior		Ejercicio priming en tren superior	
Volumen entrenamiento	Media ± SD	Volumen entrenamiento	Media ± SD
Número de ejercicios	2.5 ± 0.7	Número de ejercicios	2.1 ± 0.6
Series	2.8 ± 0.9	Series	2.9 ± 1.0
Repeticiones	3.8 ± 1.3	Repeticiones	4.5 ± 2.1
Tipo de ejercicio	%	Tipo de ejercicio	%
Salto sin carga externa	87%	Press banca	56%
Salto con carga externa	60%	Bench pull	33%
Sentadilla parcial	41%	Dominada	33%
Sentadilla completa	18%	Lanzamientos de medicinal	20%
Derivados de halterofilia	11%	Push up	16%
Otros ejercicios tren inferior	18%	Otros ejercicios tren superior	25%
Carga externa	%	Carga externa	%
>85%1RM	22%	>85%1RM	18%
70-85%1RM	36%	70-85%1RM	36%
50-69%1RM	36%	50-69%1RM	44%
30-49%1RM	24%	30-49%1RM	24%
<30%1RM	29%	<30%1RM	31%
Resistencia con bandas	62%	Resistencia con bandas	58%
Sin carga externa	62%	Sin carga externa	42%
Asistido con bandas	33%	Asistido con bandas	33%
Velocidad intencional (subjativa)	%	Velocidad intencional (subjativa)	%
Baja, movimiento controlado	-	Baja, movimiento controlado	2%
Moderada	-	Moderada	13%
Alta	-	Alta	46%
Máxima	-	Máxima	75%
Período de recuperación (horas)	%	Período de recuperación (horas)	%
0-8	-	0-8	59%
9-16	-	9-16	11%
17-24	-	17-24	13%
25-32	-	25-32	13%
>32	-	>32	4%
Duración de la sesión (minutos)	%	Duración de la sesión (minutos)	%
<15	-	<15	34%
15-30	-	15-30	59%
31-45	-	31-45	7%

% = proporción de participantes que prescriben o han prescrito sesiones priming;

Período de recuperación = período de tiempo entre el final del ejercicio priming y el inicio de la competición.

Adaptado de Harrison *et al.*, 2019.

dados por preparadores físicos (81%), responsables de rendimiento (16%) o científicos deportivos (1%) de rugby, fútbol, fútbol australiano, atletismo, cricket, hockey hierba y “otros” deportes. El 84% de los profesionales consideran que las sesiones priming son beneficiosas para el rendimiento, principalmente para aquellas actividades donde existe un alto desarrollo de potencia mecánica tales como sprints o saltos (96%), mientras que el 16% restante indican no tener claro el beneficio de estas sesiones. Respecto a la prescripción de las sesiones priming, el 51% de los encuestados las prescriben durante su calendario de competición. Aquellos encuestados que no prescriben sesiones priming indicaron los siguientes motivos para no hacerlo: no hay suficiente evidencia científica (46%), no encaja con el programa de entrenamiento (46%), los entrenadores no creen que sea beneficioso para el rendimiento (38%), pueden producir fatiga para el momento de la competición (23%) o los jugadores no creen que sea beneficioso (23%). El tiempo de descanso entre la finalización de las sesiones priming y la competición fue de 12,3 ± 10,8 horas, aunque el 59% de los encuestados indicó que las prescribe en las 8 horas previas a la competición. Las características del estímulo de entrenamiento usado en las sesiones priming se describen en la Tabla 1.

A pesar de su uso entre los profesionales deportivos, las respuestas de diferentes marcadores de rendimiento, la evolución de la producción de fuerza y función neuromuscular^{27,97}, la respuesta hormonal y/o la respuesta psicológica percibida ante este tipo de sesiones están brevemente descritas. Además, los resultados obtenidos están claramente influenciados por las características del estímulo de entrenamiento proporcionado¹².

3.4.1. EFECTOS DE LAS SESIONES PRIMING SOBRE MARCADORES DE RENDIMIENTO DEPORTIVO

Hasta la fecha, 19 investigaciones clasificadas como ejercicios priming debido a sus características, han analizado la evolución temporal (inmediatamente post hasta pasadas 72h tras la finalización del ejercicio) de la potenciación tardía y la fatiga tras sesiones priming sobre diferentes marcadores de rendimiento deportivo tales como el salto vertical con o sin carga^{12,25,26,73,74,76,89-92,95,96,99,100}, sprint máximo^{89,100}, sprint con cambio de dirección⁹¹, sprints repetidos^{74,101}, test de fuerza dinámica máxima y submáxima^{89,95}, velocidad de ejecución ante diferentes cargas^{12,25,73,100,102-104} y test específicos de la propia modalidad deportiva^{88,90,93,94,101} (Tabla 2).

La altura del salto vertical mostró ser sensible a la fatiga producida por los ejercicios priming. Tanto el CMJ (Δ Rango= -3,7 a -31,9%)^{12,26} como el SJ (Δ Rango= -3,5 a -12,0%)^{26,98} mostraron una reducción en la altura de salto inmediatamente después de la realización de la actividad condicional correspondiente. Del mismo modo, Pareja-Blanco *et al.*⁹⁹ observaron disminuciones en el rendimiento en sprint entre un 4 y un 6% tras la

Tabla 2. Resumen de las características y resultados de los ejercicios priming sobre las variables de rendimiento deportivo.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming			Índice de esfuerzo	Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad					
Harrison <i>et al.</i>	2021	15 hombres Edad: 24±3,6 años 1RM SQ: 139±25kg 1RM/BM :1,66±0,23Kg/BM >12 meses experiencia entrenamiento fuerza	Carga alta SQ	4x(2-3)	67-87%1RM	-	CMJ y SJ	↓CMJ 3,7%, ↓SJ 3,5%	8h vs Pre: ↑F media propulsiva CMJ 2,3%, ↑SJ 4.5%	32h vs Pre: ↑F media frenado 3,4%
			Carga moderada SQ	4x3	65%	-		↓CMJ 5,1%, ↓SJ 4,2%	8h vs Pre: sin diferencias	32h vs Pre: ↑CMJ 6,1% ↑SJ 6,5%
Rusell <i>et al.</i>	2016	15 jugadores de rugby profesionales Edad:24±3 años Peso:98,2±8,3kg Altura: 1,86±0,08m	BP	5x10	75%RM%	Fallo	RSA test y CMJ	-	5h vs Pre: ↑ RSA sprint 1: 2,28%; ↑RSA sprint 2: 2,4%	-
			Sprint cicloergómetro	6x6 seg 54 seg recu	7,5%BM	All out		-	5h vs Pre: ↑CMJ 2,31%	-
			40m sprint + COD 180°	6x40 metros 20seg recu	-	All out		-	5h vs Pre: ↑ RSA sprint 1: 2,12%; ↑RSA sprint 2: 2,36%	-
Dahl <i>et al.</i>	2021	10 corredores medio y largo fondo Edad: 26±3 años Altura: 1,84±0,08m Peso:73±9kg VO ₂ max: 72±7 ml/Kg/min	Carrera	15 min + 4x15 seg	60% VO ₂ max+ ritmo carrera (21-24km/h)	-	TTE, biomecánica y economía carrera al ~60%VO ₂ max, CMJ	-	5,5h vs C: ↔ TTE, ↔ economía carrera	-
			SQ unilateral	2x3	3RM (~90%RM)	Fallo		-	5,5h vs C: ↔ TTE, ↔ economía carrera ↑ CMJ 1,5% (p=0,07)	-
Rud <i>et al.</i>	2021	8 esquiadores de fondo Edad: 23±3 años Altura: 1,84±0,06m Peso:73±7kg VO ₂ max: 69±6 ml/Kg/min	5 min carrera (65-70% VO ₂ max) + pullover sentado y SQ	3x3	5RM (~82%RM)	-	SJ, double poling test O2, Sprint 30m DP, TTE DP	-	5h vs C: ↔ en todas las variables	-

Tabla 2. Continuación.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming			Índice de esfuerzo	Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad					
Nishioka y Okada	2021	20 hombres entrenados en fuerza, Edad: 22±1,5 años Altura: 1,72±0,5m Peso: 71,3±7,4kg 1RM SQ: 142,5±28,5kg 1RM/BM grupo fuertes: 2,22±0,23Kg/BM 1RM/BM grupo débiles: 1,76±0,16Kg/BM	Jump squat	5x4	40%1RM	-	SJ 0%1RM SJ 40%1RM CMJ 0%1RM CMJ 40%1RM DJ Perfil FV SJ y CMJ (FO, VO, Pmax y SFV)	-	-	24h grupo fuertes vs pre: ↑CMJ +0,02m ↑ F Con CMJ +0,35N/Kg ↑Vel Con CMJ +0,05 m/s ↑ P Con CMJ +1,30W/Kg ↑ Curvas F-T, V-T, P-T ↑CMJ Vo, Pmax 24h grupo fuertes vs C: ↑CMJ +0,01m ↑F Con CMJ +0,34N/Kg ↑ P Con CMJ +0,94W/Kg ↑CMJ Pmax 24h grupo débiles: sin diferencias en ninguna variable
Ekstrand et al.	2013	14 lanzadores (8 hombres y 6 mujeres) Edad: 20,7±2,5 años Altura: 1,78±0,11m Peso: 95,1±26,9kg	SQ y Power Clean	SQ: 1x6 + 1 x fallo Power clean: series de 4 rep hasta fatiga	SQ: 85%1RM Power clean: no reportado %RM	Fallo	BOST test y salto vertical	-	4-6h vs C: ↑BOST +0,36m ↔ salto vertical	-
Morán Navarro et al.	2017	10 atletas varones entrenados en fuerza Edad: 21,5±4,0 años Altura: 1,75±0,72m Peso: 72,4±8,4kg Exp, etto fuerza: 8,2±3,5 años 1RM BP: 87,2±15,2kg 1RM SQ:105,7±35,2kg	SQ y BP	3x5	75%1RM	5(10)	VMP SQ y BP con carga ~1m/s (V1) y 75%1RM CMJ	↔ VMP V1 BP ↔ VMP V1 SQ ↓CMJ ↔ VMP 75%1RM BP ↔ VMP 75%1RMSQ	6h: ↔ VMP V1 BP ↔ VMP V1 SQ ↔ CMJ ↔ VMP 75%1RM BP ↔ VMP 75%1RMSQ	24-48h: ↔ VMP V1 BP ↔ VMP V1 SQ ↔ CMJ ↔ VMP 75%1RM BP ↔ VMP 75%1RMSQ
				6x5	75%1RM	5(10)		↔ VMP V1 BP ↔ VMP V1 SQ ↓CMJ ↔ VMP 75%1RM BP ↔ VMP 75%1RMSQ	6h: ↔ VMP V1 BP ↔ VMP V1 SQ ↔ CMJ ↔ VMP 75%1RM BP ↔ VMP 75%1RMSQ	24-48h: ↔ VMP V1 BP ↔ VMP V1 SQ ↔ CMJ ↔ VMP 75%1RM BP ↔ VMP 75%1RMSQ
				3x10	75%1RM	10(10)		↓ VMP V1 BP ↓ VMP V1 SQ ↓CMJ ↓ VMP 75%1RM BP ↓ VMP 75%1RM SQ	6h: ↓ VMP V1 BP ↓ VMP V1 SQ ↓CMJ	24-48h: ↓ VMP V1 BP ↓ VMP V1 SQ ↓CMJ ↓ 75%1RM BP

Tabla 2. Continuación.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming			Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad				
Pareja-Blanco <i>et al.</i>	2018	10 atletas varones entrenados en fuerza Edad: 22,1±3,5 años Altura: 1,75±0,70m Peso: 73,5±10,7kg Exp, etto fuerza: 2-4 años 1RM BP: 88,4±19,0kg 1RM SQ:101,7±14,4kg	SQ y BP	3x12	70%1RM (12RM)	12(12)	↓% VMP BP 44,6% ↓% VMP SQ 30,0% ↓CMJ 31,9%	6h: ↓% VMP BP 7,1% ↓CMJ 7,1%	24h: ↓CMJ 7,2%
				3x10	75%1RM (10RM)	10(10)	↓% VMP BP 42,4% ↓% VMP SQ 22,2% ↓CMJ 31,2%	6h: ↓CMJ 8,2%	24h: ↓%VMP BP 8,0% ↓CMJ 8,6%
				3x8	80%1RM (8RM)	8(8)	↓% VMP BP 43,3% ↓% VMP SQ 26,1% ↓CMJ 32,5%	6h: ↓CMJ 8,5%	24h: ↓CMJ 6,1%
				3x6	85%1RM (6RM)	6(6)	↓% VMP BP 30,5% ↓% VMP SQ 12,3% ↓CMJ 24,9%	6h: ↓CMJ 9%	24h: ↓CMJ 6,7%
				3x4	90%1RM (4RM)	4(4)	↓% VMP BP 19,5% ↓% VMP SQ 19,2% ↓CMJ 23,3%	6h: ↔ % VMP BP ↔ % VMP SQ ↔ CMJ	24h: ↓CMJ 4,4%
				3x6	70%1RM (12RM)	6(12)	↓% VMP BP 14,3% ↓% VMP SQ 13,7% ↓CMJ 21,5%	6h: ↔ % VMP BP ↔ % VMP SQ ↔ CMJ	24-48h: ↔ % VMP BP ↔ % VMP SQ ↔ CMJ
				3x5	75%1RM (10RM)	5(10)	↓% VMP BP 13,5% ↓% VMP SQ 9,0% ↓CMJ 21,4%	6h: ↔ % VMP BP ↔ % VMP SQ ↔ CMJ	24-48h: ↔ % VMP BP ↔ % VMP SQ ↔ CMJ
				3x4	80%1RM (8RM)	4(8)	↓% VMP BP 11,1% ↓% VMP SQ 11,4% ↓CMJ 12%	6h: ↔ % VMP BP ↔ % VMP SQ ↔ CMJ	24-48h: ↔ % VMP BP ↓% VMP SQ 5,3% ↔ CMJ
				3x3	85%1RM (6RM)	3(6)	↓% VMP BP 12,2% ↓CMJ 20,3%	6h: ↔ % VMP BP ↔ % VMP SQ ↔ CMJ	24-48h: ↔ % VMP BP ↔ % VMP SQ ↔ CMJ
				3x2	90%1RM (4RM)	2(4)	↓% VMP BP 5,3% ↓% VMP SQ 10,9% ↓CMJ 20,2%	6h: ↔ % VMP BP ↔ % VMP SQ ↓CMJ 4,4%	24-48h: ↔ % VMP BP ↔ % VMP SQ ↔ CMJ

Tabla 2. Continuación.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming			Índice de esfuerzo	Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad					
Raastad y Halén	2000	8 powerlifters varones, 1 lanzador de javalina y 1 patinador de velocidad Edad: 27,5±1,4 años Peso: 84,5±4,2kg	SQ, FSQ y extensión de rodilla	3x3 y 3x6	100% 3RM y 6RM	Fallo	SJ	15 min: ↓SJ 12%	6-10h: ↓SJ	22h: ↓SJ 33h: ↔ SJ
					70% 3RM y 76% 6RM	Fallo		15 min: ↔ SJ	6-10h ↔ SJ	22h: ↔ SJ 25-33h: ↑SJ 5%
McGowan et al.	2016	13 nadadores (7 hombres y 6 mujeres) Hombres: edad: 19±3 años Altura: 1,77±0,08m Peso: 71,0±7,3kg Mujeres: edad: 17±3 años Altura: 1,72±0,10m Peso: 60,7±7,0kg	Sólo natación	1350m	Variable	-	100m TT con parciales y biomecánica nado	-	6:30h vs C: ↑ rendimiento TT 100m 1,6% ↑ rendimiento TT 25-50m 1,7% ↑ rendimiento TT 50-75m 1,6% ↑ frecuencia brazada 50m +0,7Hz	-
			Natación + fuerza	1350m nado, 2 x 3 x 10m carrera, 2 x 2 saltos comba sin carga, 2 x 2 saltos comba con 6,5kg, 2 x 5 flexiones, 2 x 3 x 10 s patada mariposa y 2 x 3 lanzamientos medicinal	Peso corporal y chaleco 6,5kg	-		-	6:30h vs C: ↑ rendimiento TT 100m 1,7% ↑ rendimiento TT 25-50m 1,5% ↑ rendimiento TT 50-75m 1,6% ↑ frecuencia brazada 50m +0,69Hz ↑ vel 0-50m +0,2m/s ↑ vel 50-100m +0,2m/s	-
Cook et al.	2014	18 jugadores de rugby semiprofesionales Edad: 22±1 años Altura: 1,84±0,05m Peso: 93,7±8,3kg 3RM BP: 139kg 3RM SQ: 168kg	SQ y BP	4x(3x3)	50%3RM-100%3RM	Fallo	3RM BP 3RM SQ Tiempo 40m sprint Potencia CMJ	-	6h vs C: ↑ 3RM BP +5Kg ↑ 3RM SQ +7Kg ↓ t 40m -0,07s ↑ Pot CMJ +116W	-
			Sprint	5x40m	Peso corporal	Sprint máximo		-	6h vs C: ↓ t 40m -0,04s	-

Tabla 2. Continuación.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming			Índice de esfuerzo	Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad					
Mason <i>et al.</i>	2016	13 jugadores de rugby nivel nacional Edad: 18±5 años Peso 98,2±16,9kg >12 meses experiencia fuerza	Fuerza con bandas elásticas en SQ y BP	4x3 en ambos ejercicios	SQ: 66,8kg BP: 66,8Kg	-	Velocidad, fuerza y potencia pico en CMJ y PB lanzado	-	2,5h vs C: ↑Δ F pico BP lanzado +65N ↑Δ pot pico BP lanzado +37W	-
Marrier <i>et al.</i>	2016	14 jugadores de rugby élite sub 18 Edad: 17±0,5 años Peso 86,4±13,2kg	Sesión <i>Blow out</i> : Aceleraciones SSG y 2x50m sprints	Duración: 30 min Dist: 1.700m Dist sprint:79m	-	-	6x30m sprint test y variables GPS partido rugby	-	2h vs C: ↔ RSA <i>very likely trivial</i> ↓ Distancia total y nº acc <i>possibly</i>	-
Fry <i>et al.</i>	1995	19 halterófilos varones junior Edad: 17,3±1,9 años Peso 72,8±14,1kg	Clean pull Snatch pull	5x3 3x3	85%1RM	-	Salto vertical 1RM Snatch 1RM C&J	-	5:30h vs C "Responders"(n=6): ↑Salto +3cm ↑Snatch 1RM +5,8kg ↑Snatch C&J +6,2kg	-
Saez Saez de Villarreal <i>et al.</i>	2007	12 jugadores de voleibol Edad: 22,8±2,7 años Peso 76,9±8,0kg Exp etto fuerza: 2-4 años	CMJ carga óptima	3x5	Peso corporal - 4,58Kg	-	CMJ DJ CMJ OL	5 min: ↑CMJ +4.11% ↑DJ 4.18% ↑CMJ OL +2.47%	6h: ↔ CMJ ↑DJ ↑CMJ OL +9,03%	-
			SQ pesado	2x4 2x3	80%1RM 85%1RM	-		5 min: ↑CMJ +5.01% ↑DJ 2.98% ↑CMJ OL +11.39%	6h: ↔ CMJ ↑DJ	-
			SQ muy pesado	2x4 2x3 2x1	85%1RM 90%1RM 95%1RM	-		5 min: ↑CMJ +4.59% ↑DJ 5.47% ↑CMJ OL +9.00%	6h: ↔ CMJ ↑DJ	-
			DJ	3x5	Peso corporal	-		5 min: ↔ en todas las variables analizadas	6h: ↔ en todas las variables analizadas	-
			Cal específico voley	5 min carrera + desplazam. 5 saltos tobillo 5 split jumps 5 saltos vertical 10 Rim jump	Peso corporal	-		5 min: ↑CMJ +6.96% ↑DJ 4.49% ↑CMJ OL +10.90%	6h: ↔ CMJ	-
			SQ moderado	3x5	30%1RM	-		5 min: ↔ en todas las variables analizadas	6h: ↔ en todas las variables	-

Tabla 2. Continuación.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming				Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad	Índice de esfuerzo				
Nutt <i>et al.</i>	2022	16 jugadores profesionales de cricket Edad: 26±6 años Peso 88,1±8,4kg	Trapbar deadlift	1x4 1x4 1x4 3x4	50%1RM 70%1RM 80%1RM 85%1RM	-	CMJ y sprint con COD 180º	-	5:30 vs C: ↑ CMJ +1,1cm ↓ tiempo sprint test -0,08s	-
			Sprints repetidos	6x35,36m con COD 180º	-	-		-	5:30 vs Sprint repetido: ↓ tiempo sprint test -0,04s	-
Tsoukos <i>et al.</i>	2018	17 atletas varones de deportes de equipo y de potencia Edad: 22,7±5,5 años Peso 80,7±8,6kg 1RM SQ: 163±29kg	Jump squat	5x4	40%1RM	No fallo	CMJ, DJ RSI	-	-	24h vs C: ↑ CMJ +5,1% (p<0,05 vs C) ↑ DJ RSI +10,7% (p<0,05 vs C) 48h vs C: ↑ CMJ +3,1% (p<0,05 vs C)
Párraga-Montilla <i>et al.</i>	2018	11 alumnos de ciencias del deporte físicamente activos Edad: 22,5±3,1 años Peso 73,4±7,2kg	SQ	1 x ~23 1 x ~14 1 x ~10	Carga 1m/s ~60%1RM	Fallo	Vel carga 1m/s CMJ	Vs Pre: ↓ CMJ -10.9 cm	-	vs Pre 24h: ↓ 1m/s VMP -0,13m/s ↓ CMJ -2,7cm ↔ Fuerza handgrip vs Pre 48h: ↓ 1m/s VMP -0,14m/s ↓ CMJ -2,4cm
Pareja-Blanco <i>et al.</i>	2019	17 alumnos de ciencias del deporte Edad: 23,6±76,2 años Peso 76,3±10,9kg 1RM SQ: 111,4±25,2kg	SQ	3 x 7,1±2,1	60%1RM	20% VL	Tiempo sprint 20m CMJ Vel carga 1m/s	Post Vs Pre: ↓ T20m -6% ↓ CMJ -24.6% ↓ Vel 1m/s -19%	6h vs Pre: ↓ CMJ -7,8% ↓ Vel 1m/s -6,9%	24h vs pre: ↓ CMJ -6,9%
				3 x 12,0±5,1	60%1RM	40% VL		Post Vs Pre: ↓ T20m -9.1% ↓ CMJ -33.7% ↓ Vel 1m/s -33.6%	6h vs Pre: ↓ CMJ -8,1%	24h vs pre: ↓ CMJ -7,1%
				3 x 3,2±1,1	80%1RM	20% VL		Post Vs Pre: ↓ T20m -4% ↓ CMJ -22.4% ↓ Vel 1m/s -22.3%	6h vs Pre: ↔ T20m, CMJ y Vel 1m/s	24h vs Pre: ↔ T20m, CMJ y Vel 1m/s
				3 x 5,4±2,8	80%1RM	40% VL		Post Vs Pre: ↓ CMJ -23.3% ↓ Vel 1m/s -22.8%	6h vs Pre: ↓ Vel 1m/s -6,8%	24h vs pre: ↓ Vel 1m/s -10,8%

realización de tres series de 3-12 repeticiones con el 60 o el 80%1RM. La fatiga producida por los ejercicios priming también se tradujo en una reducción de la capacidad para desplazar cargas a la máxima velocidad en ejercicios de tren inferior y tren superior^{12,25,99}. En este sentido, la velocidad media propulsiva en el press de banca mostró reducciones inmediatas del 5,3 al 44,6% y en la sentadilla del 9,0 al 30,0%, en función del volumen de entrenamiento y el índice de esfuerzo¹². Pasados cinco minutos tras la realización del ejercicio priming, Saez de Villarreal *et al.*⁹⁵ observaron que el CMJ sin carga, el CMJ con carga óptima y el DJ se incrementaron entre un 2,5% y un 11,4% tras la realización de ejercicios balísticos de tren inferior, sentadillas con alta carga (>80%1RM) y un calentamiento específico de voleibol basado en tareas pliométricas. Sin embargo, pasados 15 minutos tras la finalización de ejercicios tradicionales no balísticos, la altura en SJ se mantuvo igual o incluso reducida hasta un 12,0%⁹⁸.

Un total de 16 investigaciones han identificado la respuesta de este tipo de ejercicio sobre los diferentes marcadores del rendimiento a lo largo del mismo día (2h a 12h tras su finalización). La altura y potencia en salto vertical, en sus diferentes modalidades (CMJ, CMJ con carga, SJ, DJ), han sido evaluadas entre las 2h y 10h tras la actividad condicional en diferentes poblaciones obteniendo resultados dispares^{12,25,26,73,75,88-90,92,94,95,98,99}. Sólo una investigación ha identificado los efectos sobre el salto vertical con ~2:30h de recuperación⁷⁵. Esta ventana temporal parece ser suficiente para recuperar las disminuciones en el salto vertical producidas por una sesión priming de bajo volumen (3 series x 4 repeticiones) y baja carga (resistencia con bandas elásticas)⁷⁵, además de mostrar un efecto de potenciación tardía en la fuerza y potencia desarrolladas en el tren superior. Por otro lado, pasadas 5-8h los beneficios de los ejercicios priming sobre los marcadores de rendimiento no están claros. En jugadores de rugby, diferentes tipos de priming incrementaron el rendimiento en salto vertical y disminuyeron el tiempo en los dos primeros de seis sprints repetidos tras 5h de recuperación⁷³. Del mismo modo, un ejercicio priming basado en fuerza y 1.350m de nado a intensidad variable en la jornada matinal disminuyeron los tiempos de un TT de 100m (y los parciales 25-50m y 50-75m) en la jornada de tarde tras 6:30h de recuperación comparado con la condición control, donde no se realizó ejercicio matutino. También, Cook *et al.*⁸⁸ observaron que un ejercicio priming con sentadilla y press banca, así como un priming basado en sprints mejoró el tiempo en sprint de 40m, el 3RM en ambos ejercicios de fuerza, así como la potencia en CMJ. Por otro lado, atletas entrenados en fuerza (1RM BP: 87,2±15,2kg; 1RM SQ:105,7±35,2kg) mostraron que tanto la capacidad de salto como la velocidad de ejecución en press banca y sentadilla con cargas submáximas (carga ~1m/s) se vio recuperada, aunque no incrementada, a las 6h²⁵. Incluso, dependiendo de la configuración del entrenamiento, el salto vertical y las velocidades de ejecución se vieron disminuidas²⁵. De forma similar, pasadas 6h tras el ejercicio priming, Pareja-Blanco *et al.*⁹⁹ observaron recuperaciones (sin incrementos) y disminuciones en el rendimiento en sprint, CMJ y velocidades de ejecución tras diferentes configuraciones de entrenamiento en alumnos de ciencias del deporte.

Un alto porcentaje de los ejercicios priming se realiza en el día previo a la competición (17-24h antes de la hora de la competición)⁹⁶. A pesar de ello, la literatura científica no presenta un consenso claro sobre su beneficio⁷⁴, aunque tiene potenciales efectos beneficiosos sobre diferentes marcadores de rendimiento^{26,72,91}. Nishioka y Okada⁷² observaron que cinco series de cuatro repeticiones de JS con el 40%1RM incrementó el CMJ, comparado con una condición control, 2cm de media tras 24h de recuperación desde la finalización del ejercicio priming en atletas entrenados en fuerza (1RM sentadilla relativa a PC=2,22±0,23Kg/PC). Esos incrementos en la altura de salto fueron acompañados de incrementos en las variables cinéticas y cinemáticas del salto, en las curvas fuerza-velocidad- y potencia-tiempo asociadas⁷². Con un protocolo priming idéntico, Tsoukos *et al.*⁹¹ observaron a las 24h una potenciación tardía sobre el CMJ y el RSI en DJ en comparación al grupo control. Además, la potenciación tardía sobre la altura del CMJ se mantuvo hasta pasadas 48h (+3,1%)⁹¹. En contra de estos resultados positivos, las velocidades de ejecución en sentadilla y press de banca ante cargas moderadas y altas, la altura en CMJ y el sprint en 20m mostraron valores similares y/o reducciones en comparación con los valores previos al ejercicio priming^{12,25,99}.

Teniendo en cuenta la literatura analizada, los ejercicios priming presentan un potencial efecto beneficioso, aunque no en todas las poblaciones⁷² y no con todo tipo de configuraciones de ejercicio^{25,38,87,89,95,99}. Dada la convivencia entre fatiga, potenciación tardía y rendimiento neuromuscular^{27,29,30,34,40,100,101}, parece necesaria la utilización de ejercicios priming que no generen unos altos niveles de fatiga que perduren hasta el momento de la competición y que, además, produzcan este efecto de potenciación tardía. Sin embargo, dado que los mecanismos a través de los cuales se produce la potenciación tardía son desconocidos, hasta la fecha sólo se puede manipular las variables de entrenamiento para conseguir una respuesta positiva.

3.4.2. EFECTOS DE LAS SESIONES PRIMING SOBRE LA PRODUCCIÓN DE FUERZA Y LA FUNCIÓN NEUROMUSCULAR

Los entrenamientos con cargas, orientados a la producción de fuerza^{60,102,103} y potencia^{21,54,55,57,61,103,104}, han demostrado ser eficaces a la hora de obtener incrementos en la producción de fuerza máxima, potencia e hipertrofia en el largo plazo siguiendo el proceso de entrenamiento (estímulo-fatiga-recuperación-supercompensación)¹⁰⁵⁻¹⁰⁷. En este sentido, los cambios en la capacidad de contracción máxima de la musculatura no están explicados completamente por el aumento de la sección transversal del músculo, ya que se han demostrado incrementos en la producción de fuerza sin un incremento asociado en el tamaño muscular^{105,108}, demostrando la implicación de factores neurales. De hecho, una reciente revisión ha analizado los efectos del entrenamiento de fuerza sobre la función neural¹⁰⁹. En ella observaron que el entrenamiento de fuerza produce

un incremento moderado de la excitabilidad corticoespinal, medido a través del máximo potencial evocado (MEP), que refleja una optimización en la excitabilidad de la corteza motora (M_1) así como en la eficiencia en la conducción del impulso a través de la médula espinal hasta las motoneuronas¹¹⁰. Sin embargo, y del mismo modo que ocurre en los marcadores deportivos, los estímulos de entrenamiento producen una disminución (fatiga) transitoria sobre la producción de fuerza y la función neuromuscular^{30,33,34,101}. Por ello, es vital minimizar la presencia de fatiga neuromuscular para el momento de la competición⁷⁴ y para poder lograr ese objetivo es necesario conocer la evolución temporal de la fatiga central y periférica sobre la producción de fuerza, así como la función neuromuscular^{27,40,111}. En este contexto, diferentes investigaciones han tratado de identificar la evolución temporal de la producción de fuerza, así como de la fatiga neural y periférica tras diferentes ejercicios priming^{27,40,87,89,91,98,111,112} (Tabla 3).

Cinco investigaciones han identificado los efectos inmediatamente después de la finalización de un ejercicio priming, hasta pasada una hora, sobre la producción de fuerza y función neuromuscular^{27,40,98,111,112}. Todas las investigaciones apuntan en la misma dirección. La producción de MVIC (fuerza isométrica o torque a diferentes velocidades angulares) se ve reducida significativamente tras la actividad condicional^{27,40,98,111,112}. Del mismo modo, estas reducciones en la producción de MVIC fueron acompañadas de incrementos en la fatiga periférica de baja frecuencia (10-20Hz)^{98,112} y reducciones en la activación central voluntaria¹¹², sugiriendo una limitada función del proceso de acoplamiento excitación-contracción, de la liberación de Ca^{+113} y de la capacidad para reclutar unidades motoras y/o de la tasa de disparo³². También Latella *et al.*²⁷ observaron disminuciones en la excitabilidad nerviosa periférica (Mmax) tras cinco series de tres repeticiones con el 3RM en curl de bíceps tras la estimulación supramáxima del plexo braquial, confirmando una posible disminución de la eficiencia de la bomba sodio potasio en el sarcolema durante la primera hora tras el ejercicio.

Sin embargo, si aumentamos los periodos de recuperación (2-11h), la reducción en la producción de fuerza, así como la fatiga central y periférica parecen disiparse^{27,40,98,111}. Pasadas dos horas desde la finalización del entrenamiento, en comparación con los valores pre-ejercicio, la MVIC comienza a aproximarse, aunque no se recupera por completo^{27,40,111}. También, en torno a las 2h, se observan aproximaciones (recuperación) de la excitabilidad neural periférica (Mmax) y la excitabilidad corticoespinal (MEP) a los valores basales, siendo esta ventana temporal de recuperación mucho más corta que la propuesta tradicionalmente¹. Siguiendo con la evolución temporal en el mismo día, a las 5-6h se ha recuperado la fuerza pico producida ante estimulaciones eléctricas de baja (20Hz) y moderada (50Hz) frecuencia⁸⁹, la excitabilidad neural periférica, la excitabilidad corticoespinal y la MVIC^{27,111}. Incluso a las 6h se ha observado un efecto de supercompensación de la MVIC del bíceps acompañado de incrementos en la Mmax.⁴⁰

En el día siguiente a los ejercicios priming podemos observar resultados dispares sobre la producción de fuerza y la función neuromuscular. Por ejemplo, González-Hernández *et al.*¹¹² mostró que en estudiantes físicamente activos tanto en la condición que llegó al fallo muscular como en la que no, la MVIC se vio reducida a las 24h ($\Delta=-95$ a $-113N$) acompañada de disminuciones de la activación voluntaria ($\Delta=-4,3$ a $-6,5\%$) sugiriendo una disminución en la función neuromuscular a las 24h. Sin embargo, protocolos clasificados como hipertrofia (5x12 70%1RM) o fuerza máxima (5x3 90%1RM) en el ejercicio de extensión de rodilla mostraron que a las 24h tanto la producción de fuerza isométrica máxima como los factores neurales evaluados a través de estimulación magnética transcraneal (Mmax, MEP, CSP, ICF, SICI y LICI) fueron similares a los observados previos al ejercicio⁴⁰. Incluso, un protocolo similar en tren superior (5x3 94%1RM) mostró incrementos en la producción de MVIC del 8,5 al 10,0% a las 24 y 48h tras el ejercicio priming²⁷. De forma similar, pero con un protocolo priming basado en *Jump Squat* y con una orientación al desarrollo de potencia y alejado del fallo (5x4 40%1RM), atletas de equipo y deportes de potencia incrementaron el ratio de desarrollo de fuerza (RFD, por sus siglas en inglés, rate of force development) en leg press en diferentes ventanas temporales (0-100, 0-200 y 0-300ms) entre un 9,7 y un 18,3% a las 24h en comparación al grupo control, que no realizó ninguna actividad priming⁹¹.

Tabla 3. Resumen de las características y resultados de los ejercicios priming sobre las producción de fuerza isométrica y la función neuromuscular.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming			Índice de esfuerzo	Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad					
Dahl <i>et al.</i>	2021	10 corredores medio y largo fondo Edad: 26±3 años Altura: 1,84±0,08m Peso: 73±9kg VO ₂ max: 72±7 ml/Kg/min	Carrera	15 min + 4x15 seg	60% VO ₂ max+ ritmo carrera (21-24km/h)	-	Fuerza 20 y 50Hz	-	5:30h vs Pre: ↔ F pico 20Hz ↔ F pico 50Hz	-
			SQ unilateral	2x3	3RM (~90%RM)	Fallo		-	5:30h vs Pre: ↔ F pico 20Hz ↔ F pico 50Hz	-
Rud <i>et al.</i>	2021	8 esquiadores de fondo Edad: 23±3 años Altura: 1,84±0,06m Peso: 73±7kg VO ₂ max: 69±6 ml/Kg/min	5 min carrera (65-70%VO ₂ max) + pullover sentado y SQ	3x3	5RM (~82%RM)	-	Fuerza 20 y 50Hz	-	5h vs Pre: ↓ F 20Hz	-
Raastad y Halén	2000	8 powerlifters varones, 1 lanzador de javalina y 1 patinador de velocidad Edad: 27,5±1,4 años Peso: 84,5±4,2kg	SQ, FSQ y extensión de rodilla	3x3 y 3x6	100% 3RM y 6RM	Fallo	Torque pico y trabajo 60º/s extensión rodilla Torque pico y trabajo 240º/s extensión rodilla Fuerza 20Hz Fuerza 50Hz	5 min: ↓Torque 60 12% ↓W 60 6% ↓Torque 240 ↓W 240 ↓20:50Hz ratio	3-11hvs Pre y vs 70%: ↓Torque60 ↓W 60 ↔ Torque240 ↔ W240	22-33h vs 70%: ↔ Torque60 ↔ W60 ↓ Torque240 ↔ W240
					70% 3RM y 76% 6RM	Fallo		5 min: ↓Torque 60 -14% ↓W60 -7% ↓Torque240 ↓W240 ↓20:50Hz ratio	3-11 vs Pre: ↔ Torque60 ↔ W60 ↔ Torque240 ↔ W240 ↔ F20 y 50Hz	22-33h vs Pre: ↓F20Hz 21% ↓ 50Hz 14%
Tsoukos <i>et al.</i>	2018	17 atletas varones de equipo y deportes de potencia Edad: 22,7±5,5 años Peso 80,7±8,6kg 1RM SQ: 163±29kg	Jump squat	5x4	40%1RM	No fallo	MVIC y RFD Leg press	-	-	24h vs Pre: ↑RFD0-100 18,3% ↑RFD0-200 10,2% ↑RFD0-300 9,7% ↔ MVIC 24 vs C: ↑RFD0-100 ↑RFD0-200 ↔ MVIC 48h vs Pre: ↑RFD0-100 9,8% ↔ MVIC

Tabla 3. Continuación.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming			Índice de esfuerzo	Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad					
González-Hernández et al.	2022	12 estudiantes varones de ciencias del deporte físicamente activos Edad: 23,6±1,5 años Peso 76,5±9,9kg 1RM SQ: 91,8±16,7Kg 10RM SQ: 69,6±11,9Kg	SQ	6x5	10RM ~75%1RM	5(10)	MVIC VA Db100Hz Db10Hz Single twitch 10:100 ratio	Post vs Pre: ↓MVIC -140N ↓Db100Hz -74N ↓Db10Hz -107N ↓Single twitch -63N ↓10:100 ratio -19,3% ↓VA -10,6%	1h vs Pre: ↓MVIC -107N ↓Db100Hz -51N ↓Db10Hz -72N ↓Single twitch -40N ↓10:100 ratio -10,6% ↓VA -5,9%	24h vs Pre: ↓MVIC -95N ↔ Db100Hz ↔ Db10Hz ↔ Single twitch ↔ 10:100 ratio ↓VA -4,3%
				6x10		10(10)		Post vs Pre: ↓MVIC -173N ↓Db100Hz -94N ↓Db10Hz -144N ↓Single twitch -97N ↓10:100 ratio -31,1% ↓VA -9,5%	1h vs Pre: ↓MVIC -140N ↓Db100Hz -53N ↓Db10Hz -94N ↓Single twitch -59N ↓10:100 ratio -20,3% ↓VA -6,0%	24h vs Pre: ↓MVIC -113N ↔ Db100Hz ↔ Db10Hz ↔ Single twitch ↔ 10:100 ratio ↓VA -6,5%
								Post vs 5(10): ↓Db100Hz -19N ↓Db10Hz -32N ↓Single twitch -18N ↓10:100 ratio -10,2%		
Latella et al.	2017	14 individuos sanos (9 hombres y 5 mujeres) Edad: 26,2±3,1 años Peso 81,3±9,6kg 6-12 meses experiencia entrenamiento fuerza	Extensión rodilla	5x3 (HST)	3RM (~90%1RM)	Fallo	MVIC torque Mmax (Excitabilidad nerviosa periférica) MEP y CSP (excitabilidad corticoespinal) ICF, SICI y LICI (Facilitación e inhibición intracortical)	Post vs Pre: ↓MVIC -21Nm ↓Mmax - 1,1mV ↓CSP -26,5ms ↑SICI +0,15mV	2h post vs pre: ↓MVIC -27Nm ↓CSP -10,3ms ↔ Resto variables	24-72h post vs pre: ↔ Todas las variables
				5x12 (HYP)	12RM (~70%1RM)	Fallo		Post vs Pre: ↓MVIC -49Nm ↓Mmax -1,4 mV ↓CSP -20,7ms ↑ICF +0,27mV ↑SICI +0,29 mV	2h vs Pre: ↔ MVIC ↑MEP/Mmax +0,16 ↓CSP -15,3ms ↑SICI +0,13 mV	24h vs pre: ↓CSP -4,9ms
								6h post vs pre: ↔ Todas las variables	6h vs pre: ↓CSP -9,7ms	

Tabla 3. Continuación.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming			Índice de esfuerzo	Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad					
Latella et al.	2018	22 individuos sanos (11 hombres y 11 mujeres) Edad hombres: 25,1±4,3 años Peso hombres: 81,2±9,4kg Edad mujeres: 26,2±3,0 años Peso mujeres: 65,4±11,1kg >6 meses experiencia entrenamiento fuerza y al menos 2 sesiones/semana	Extensión rodilla unilateral	3x12	12RM (~70%1RM)	Fallo	MVIC torque Mmax MEP MEP/Mmax CSP CSP/MEP SICI ICF	Hombres Post vs pre: ↓MVIC -33Nm ↓CSP -29ms ↓CSP/MEP -67 Hombres 30 min vs pre: ↓MVIC -31Nm ↓Mmax -1,11mV ↑MEP/Mmax +0,14 ↓CSP -17ms ↓CSP/MEP -69 Mujeres Post vs pre: ↓MVIC -28Nm ↑MEP/Mmax +0,18 ↓CSP -14ms ↓CSP/MEP -72 Mujeres 30 min vs pre: ↔ MVIC ↑MEP/Mmax +0,19 ↓CSP -11ms ↓CSP/MEP -76 ↓Mmax - 1,15mV	Hombres 1h vs pre: ↓MVIC -29Nm ↑MEP/Mmax +0,25 ↓CSP -16ms ↓CSP/MEP -56 Hombres 6h vs pre: ↔ Todas las variables Mujeres 1h vs pre: ↔ MVIC ↓CSP -10ms Mujeres 6h vs pre: ↔ Todas las variables	-
Latella et al.	2016	14 individuos sanos (7 hombres y 7 mujeres) Edad: 26,2±5,8 años Peso 79,1±15,9kg >6 meses experiencia entrenamiento fuerza y al menos 2 sesiones/semana	Curl biceps unilateral con mancuerna	5x3	94%1RM	Fallo	MVIC Mmax MEP ICF LICI SICI	Post - 1h vs Pre: ↓MVIC -19,5% (post) -5,7% (30 min) ↔ MVIC 1h ↓Mmax -21,4% (post) -13,3% (30 min) ↔ Mmax 1h ↓MEP -46,1% (post) ↔ MEP 1h	2h vs pre: ↔ MVIC ↔ Mmax ↔ MEP 6h vs pre: ↑MVIC +5,6% ↑Mmax +27,9% ↔ MEP	24-48h vs pre: ↑MVIC +8,5 a 10,0% ↔ Mmax ↔ MEP

3.4.3. EFECTOS DE LAS SESIONES PRIMING SOBRE EL SISTEMA ENDOCRINO Y LAS RESPUESTAS HORMONALES

Como ya hemos observado en los anteriores puntos, la realización de entrenamientos de fuerza (ya sean tipo priming o no) alteran la homeostasis del organismo del deportista generando una cascada de respuestas. En este sentido, el sistema neuroendocrino también es sensible a los entrenamientos de fuerza y presenta una serie de respuestas fisiológicas agudas que pueden mediar el rendimiento deportivo y que en el largo plazo afectan a la producción de fuerza y potencia muscular, a la resistencia muscular local y al desarrollo de hipertrofia¹¹⁴. Estas respuestas pueden presentarse como elevaciones en la concentración de hormonas circulantes en el torrente sanguíneo¹¹⁵, así como una mayor probabilidad de interacción con sus receptores de membrana o citoplasmáticos¹⁸. Concretamente, tras las sesiones priming se han analizado diferentes marcadores hormonales, tanto del equilibrio anabólico-catabólico^{12,25,26,73,74,88,116}, como de diferentes marcadores de daño muscular^{12,25,98,112} y de marcadores del estado energético de la musculatura^{25,117}, los cuales se detallan a continuación (Tabla 4).

3.4.3.1. Testosterona y cortisol

La testosterona (17b-hidroxi-4-androsteno-3-ona) es una hormona esteroide producida a partir del colesterol mediante una serie de catalizaciones producidas por enzimas específicas. Varios de los productos intermedios de este proceso son hormonas con sus propias acciones fisiológicas e incluyen la progesterona, la dehidroepiandrosterona y la androstenediona. La primera está implicada en el ciclo reproductivo femenino¹¹⁸ y las dos últimas tienen débiles efectos androgénicos-anabólicos. El principal lugar para la producción de testosterona son las células de Leydig, que se encuentran en los testículos. En las mujeres el desarrollo de testosterona se produce en ovarios y en la zona reticular de la corteza suprarrenal¹¹⁹. Sin embargo, las concentraciones en mujeres son 10 veces menores que en hombres¹¹⁵. La señal para la producción y liberación de testosterona se origina en el hipotálamo, organismo que centraliza y vincula los sistemas nervioso y endocrino, siendo el regulador central del eje hipotalámico-pituitario-gonadal¹²⁰. Las neuronas especializadas del hipotálamo producen y secretan la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH). La GnRH viaja directamente a la glándula pituitaria anterior a través de la vena hipotalámica-hipofisaria y se une a sus receptores gonadotrópicos. Esto permite una entrega rápida de la señal hormonal desde el hipotálamo a las células objetivo de la hipófisis anterior. Allí, la GnRH estimula la producción y la liberación de la hormona luteinizante (HL) y la hormona foliculoestimulante (FSH)¹²⁰. La HL y la FSH pasan a la circulación y son transportadas a las gónadas. En las gónadas, la HL estimula la producción de testosterona en las células de Leydig de los hombres y en las células theca de las mujeres¹²⁰. Desde el punto de vista muscular, esta hormona presenta un potente efecto anabólico que estimula la síntesis proteica¹²¹ y la captación de aminoácidos intramusculares que aumentan el balance proteico total¹²² que pueden implicar

aumentos en variables de interés deportivo. Además, también inhibe la señalización del cortisol a través del bloqueo de receptores de glucocorticoides¹²³. A modo de ejemplo, Ferrando *et al.*¹²² observaron en pacientes andropáusicos (pacientes con reducciones en libido y fuerza muscular y aumentos en la fatigabilidad percibida, asociados a menores concentraciones de testosterona¹²¹) que la aplicación de un tratamiento con testosterona en rangos fisiológicos incrementa el anabolismo muscular (incremento en la expresión de receptores androgénicos e IGF-1) en conjunto, con incrementos de la masa magra y la 1RM en diferentes ejercicios mono articulares así como reducciones en el porcentaje de masa grasa comparado con placebo.

El cortisol es un glucocorticoide segregado por la glándula suprarrenal como respuesta al estrés del ejercicio. Presenta una función catabólica con mayores efectos sobre las fibras tipo II. En los tejidos periféricos, este glucocorticoide estimula la lipólisis en las células adiposas, incrementa la degradación y disminuye la síntesis proteica en células musculares aumentando el envío de lípidos y aminoácidos al torrente sanguíneo¹⁸. Tras un estímulo de entrenamiento, se observan incrementos agudos en la concentración de cortisol, acompañados de incrementos en la hormona adrenocorticotrópica (encargada de estimular la secreción de cortisol)^{124,125}. Además, los incrementos posteriores al entrenamiento en la concentración de cortisol están influenciados por características previas de los sujetos como la edad o la modalidad deportiva practicada, así como por el tipo de entrenamiento realizado. Los entrenamientos de fuerza más demandantes metabólicamente (mayor volumen de entrenamiento, mayor intensidad y menores tiempos de descanso) producen los mayores incrementos en la concentración de cortisol post ejercicio. Es por ello que protocolos de entrenamiento de tipo fuerza resistencia u orientados a la hipertrofia aumentan la concentración de cortisol en comparación con protocolos orientados al desarrollo de fuerza máxima¹²⁶.

Aunque los efectos de ambas hormonas son primordiales para el desarrollo de masa muscular a largo plazo, cambios en su concentración pueden presentar implicaciones inmediatas sobre el rendimiento deportivo. Estas hormonas presentan un ritmo circadiano que puede influenciar el entorno hormonal previo al entrenamiento^{127,128}. Es interesante destacar que tanto el pico de testosterona como el de cortisol se alcanzan durante la mañana (08:00) mientras que el pico de rendimiento físico se ha mostrado generalmente durante la tarde (16:00-20:00)¹²⁷ sugiriendo así una falta de asociación entre concentración de testosterona y rendimiento deportivo. Sin embargo, si se fija la hora de evaluación, la concentración de testosterona en saliva ha demostrado relacionarse de forma significativa con la carga de trabajo autoseleccionada en entrenamientos de fuerza (3RM sentadilla y press de banca) así como en el rendimiento en el lanzamiento de balón medicinal durante diferentes días¹²⁹. Por ello, Cook y Crewther¹³⁰ trataron de identificar los efectos que produjeron diferentes clips de vídeo (triste, erótico, humorístico, agresivo o de acciones deportivas) sobre la concentración de testosterona y cortisol,

Tabla 4. Resumen de las características y resultados de los ejercicios priming sobre marcadores metabólicos y endocrinos.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming			Índice de esfuerzo	Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad					
Harrison <i>et al.</i>	2021	15 hombres Edad: 24±3,6 años 1RM SQ: 139±25kg 1RM/BM :1,66±0,23Kg/BM >12 meses experiencia entrenamiento fuerza	Carga alta SQ	4x(2-3)	67-87%1RM	-	T saliva C saliva	5 min vs Pre: ↔ T y C	8h vs Pre: ↓ T -15,4% ↓ C -54,0%	24h vs Pre: ↔ T y C 32h vs Pre: ↓ T -21,6% ↓ C -38,7%
			Carga moderada SQ	4x3	65%	-		5 min vs Pre: ↔ T y C	8h vs Pre: ↓ T -28,8% ↓ C -54,8%	24h vs Pre: ↔ T y C 32h vs Pre: ↓ T -21,6% ↓ C -38,7%
Russell <i>et al.</i>	2016	15 jugadores de rugby profesionales Edad:24±3 años Peso:98,2±8,3kg Altura: 1,86±0,08m	BP	5x10	75%RM%	Fallo	T saliva C saliva	-	6h vs C: ↑T +17% ↔ C ↓ reducción circadiana T	-
			Sprint cicloergómetro	6x6 seg 54 seg recu	7,5%BM	All out		-	6h vs C: ↔ T ↔ C ↓ reducción circadiana T	-
			40m sprint + COD 180°	6x40 metros 20seg recu	-	All out		-	6h vs C: ↑T +22% ↔ C ↓ reducción circadiana T	-

Tabla 4. Continuación.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming			Índice de esfuerzo	Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad					
Morán Navarro et al.	2017	10 atletas varones entrenados en fuerza Edad: 21,5±4,0 años Altura: 1,75±0,72m Peso: 72,4±8,4kg Exp, etto fuerza: 8,2±3,5 años 1RM BP: 87,2±15,2kg 1RM SQ:105,7±35,2kg	SQ y BP	3x5	75%1RM	5(10)	Serum CK Serum GH Amoníaco capilar Serum C Serum T T:C ratio	Vs Pre AM: ↑ CK ↓ C ↓ T	6h vs Pre PM: ↔ CK	24h vs Pre AM: ↑ CK
				6x5	75%1RM	5(10)		Vs Pre AM: ↑ CK ↑ GH ↓ C ↑ T:C	6h vs Pre PM: ↑ CK	24h vs Pre AM: ↑ CK 48h-72h vs Pre AM: ↑ T ↑ T:C
				3x10	75%1RM	10(10)		Vs Pre AM: ↑ CK ↑ Amoníaco ↑ GH ↑ T ↑ T:C	6h vs Pre PM: ↑ CK ↑ Amoníaco ↑ T:C	24-78h vs Pre AM: ↑ CK (24-48h) ↑ T (24-78h) ↑ T:C (24-78h)
								6h vs 3x5(10) y 6x5(10): ↑ Amoníaco ↑ GH ↑ C ↑ T	6h vs 3x5(10) y 6x5(10): ↑ CK ↑ Amoníaco	24h vs 3x5(10) y 6x5(10): ↑ CK

Tabla 4. Continuación.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming			Índice de esfuerzo	Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad					
Pareja-Blanco <i>et al.</i>	2018	10 atletas varones entrenados en fuerza Edad: 22,1±3,5 años Altura: 1,75±0,70m Peso: 73,5±10,7kg Exp, etto fuerza: 2-4 años 1RM BP: 88,4±19,0kg 1RM SQ:101,7±14,4kg	SQ y BP	3x12	70%1RM (12RM)	12(12)	Serum C Serum T Serum GH Serum IGF-1 Serum PRL Serum CK	↑PRL	-	↑CK
				3x10	75%1RM (10RM)	10(10)		↑GH ↑IGF-1 ↑PRL	-	↑CK
				3x8	80%1RM (8RM)	8(8)		↑PRL ↑CK	-	↑CK
				3x6	85%1RM (6RM)	6(6)		-	-	↑CK
				3x4	90%1RM (4RM)	4(4)		↑IGF-1	-	↑CK
				3x6	70%1RM (12RM)	6(12)		↑CK	-	↑CK
				3x5	75%1RM (10RM)	5(10)		-	-	-
				3x4	80%1RM (8RM)	4(8)		↓C	-	↑CK
				3x3	85%1RM (6RM)	3(6)		-	-	↑CK
				3x2	90%1RM (4RM)	2(4)		-	-	↑CK
Raastad y Halén	2000	8 powerlifters varones, 1 lanzador de javalina y 1 patinador de velocidad Edad: 27,5±1,4 años Peso: 84,5±4,2kg	SQ, FSQ y extensión de rodilla	3x3 y 3x6	100% 3RM y 6RM	Fallo	La-CK Urea	↑La- ~8,5 mmol ↓urea	11 vs pre: ↑CK	33 vs pre: ↑CK
					70% 3RM y 76% 6RM	Fallo		↑La- ~ 2,6 mmol ↓urea	11 vs pre: ↑CK ↑Urea	↔ CK ↔ urea

Tabla 4. Continuación.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming			Índice de esfuerzo	Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad					
McGowan et al.	2016	13 nadadores (7 hombres y 6 mujeres) Hombres: edad: 19±3 años Altura: 1,77±0,08m Peso: 71,0±7,3kg Mujeres: edad: 17±3 años Altura: 1,72±0,10m Peso: 60,7±7,0kg	Sólo natación	1350m	Variable	-		Post nado: ↑Tª central +0,9°C ↓ Tª piel -3,6°C ↑La- +2,3mmol	-	-
			Natación + fuerza	1350m nado, 2 x 3 x 10m carrera, 2 x 2 saltos comba sin carga, 2 x 2 saltos comba con 6,5kg, 2 x 5 flexiones, 2 x 3 x 10 s patada mariposa y 2 x 3 lanzamientos medicinal	Peso corporal y chaleco 6,5kg	-	Tª central Tª corporal Tª piel La- FC	Post nado: ↑Tª central +1,0°C ↓Tª piel -4,0°C ↑La- +2,3mmol ↑FC +50 lpm Post fuerza: ↑Tª piel +1,9°C ↑La- +0,5mmol ↑FC +37 lpm ↑Tª piel +1,6°C vs sólo natación	6:30h vs C: ↑Tª central +0,2°C ↑Tª corporal +0,2°C ↑Tª piel +0,3°C 6:30h vs sólo natación: ↑Tª central +0,1°C ↑Tª corporal +0,3°C ↑Tª piel +0,4°C	-
Cook et al.	2014	18 jugadores de rugby semiprofesionales edad: 22±1 años altura: 1,84±0,05m peso: 93,7±8,3kg 3RM BP: 139kg 3RM SQ: 168kg	SQ y BP	4x(3x3)	50%3RM- 100%3RM	Fallo		-	6h vs Pre: ↔T (no disminución circadiana) -1,2 pg/ml ↓C (disminución circadiana) -0,12 a -0,24 ng/ml 6h vs C: ↑T +12,9 a + 30,4 pg/ml ↑C +0,12 a + 0,41 ng/ml	-
			Sprint	5x40m	Peso corporal	Sprint máximo		T saliva C saliva	6h vs Sprint ↑T +1,2 a + 15,8 pg/ml ↔C 6h vs Pre: ↓T (disminución circadiana) -2,8 a 9,4 pg/ml ↓C (disminución circadiana) -0,13 a -0,25 ng/ml 6h vs C ↑T +8,8 a 19,9 pg/ml ↑C +0,01 a + 0,19 ng/ml	-

Tabla 4. Continuación.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming			Índice de esfuerzo	Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad					
Marrier <i>et al.</i>	2018	14 jugadores de rugby élite sub 18 Edad: 17±0,5 años Peso 86,4±13,2kg	Sesión Blow out: Aceleraciones SSG y 2x50m sprints	Duración: 30 min Dist: 1.700m Dist sprint:79m	-	-	T saliva C saliva T/C ratio α-amylasa	Possibly small ↑T +0,002μg/dl Likely small ↑T/C +0,02 Almost certain moderate ↑ α-amylasa +86,4 U/ml	post 2 (2h) vs Pre: Very likely small ↓T -0,002μg/dl ↔T/C Almost certain moderate ↑ α-amylasa +137,4 U/ml post 3 (3h) vs Pre: Likely small ↑T +0,002μg/dl Possibly small ↑T/C +0,04 Almost certain moderate ↑ α-amylasa +141,4 U/ml	-
Párraga-Montilla <i>et al.</i>	2018	11 alumnos de ciencias del deporte físicamente activos Edad: 22,5±3,1 años Peso 73,4±7,2kg	SQ	1 x ~23 1 x ~14 1 x ~10	Carga 1m/s ~60%1RM	Fallo	La- Ácido úrico Amoníaco	La- = 14,2mmol/l Ác. Úrico = 14,2mg/dl ↑ Amoníaco +108,2 mmol/l	-	24h: Ác. Úrico = 7,80mg/dl 48h: Ác. Úrico = 7,32mg/dl
González-Hernández <i>et al.</i>	2022	12 estudiantes de ciencias del deporte físicamente activos Edad: 23,6±1,5 años Peso 76,5±9,9kg 1RM SQ: 91,8±16,7kg 10RM SQ: 69,6±11,9kg	SQ	6x5 6x10	10RM ~75%1RM	5(10) 10(10)	CK AST	post 1h vs Pre: ↑CK +62UI/L ↑AST +3,1UI/L post 1h vs Pre: ↑CK +90UI/L ↑AST +3,3UI/L	24h vs pre: ↔CK +211UI/L 48h vs pre: ↔CK +85UI/L	24h vs pre: ↑CK +308UI/L ↑AST +9,9UI/L 48h vs pre: ↑CK +163UI/L ↑AST +6,6UI/L

así como en el rendimiento en 3RM de sentadilla. Lo que observaron fue lo siguiente: los vídeos eróticos, humorísticos, agresivos y de entrenamiento aumentaron la concentración de testosterona previa al entrenamiento, estando estos cambios en la concentración de testosterona relacionados estrechamente con los resultados de rendimiento en 3RM de sentadilla (aumento de carga de trabajo). Además, estos resultados fueron robustos tanto a nivel grupal como individual. Por lo tanto, parece que el entorno hormonal previo al entrenamiento puede influir en el rendimiento volitivo posterior.

Dada la capacidad del entrenamiento de fuerza para manipular las concentraciones de testosterona y cortisol, desde el punto de vista de las sesiones priming se ha intentado utilizar el ejercicio previo como una estrategia para manipular la concentración de testosterona y cortisol y obtener concentraciones óptimas para el momento de la competición. La respuesta inmediatamente posterior a los ejercicios priming sobre las concentraciones de testosterona y cortisol ha sido evaluada en cuatro investigaciones diferentes^{25,26,38,116} (Tabla 4). Una sesión de 30 minutos en campo mostró incrementos en la concentración de testosterona y el ratio testosterona/cortisol en jugadores de rugby, mientras que ejercicios priming de fuerza mostraron resultados contradictorios^{12,25,26} (Tabla 4).

Respecto a los efectos de los ejercicios priming a lo largo del mismo día podemos observar disminuciones a las 8h²⁶ tanto en la concentración de T como de C tras la realización de un ejercicio priming de bajo volumen tanto con cargas moderadas como altas en comparación a las concentraciones pre-ejercicio. Sin embargo, si comparamos respecto a un grupo control 6h después del ejercicio priming, la concentración de T se vio incrementada un 17,0%, con similares valores de C, modificando así el entorno hormonal en el momento de la evaluación/competición⁷³. También la realización de 12 series con intensidad incremental hasta el 100%3RM en los ejercicios press de banca y sentadilla, así como un protocolo basado en sprines repetidos (6x40m) aumentaron la concentración de T respecto a un grupo control tras 6h de descanso.

Tomando estos resultados en conjunto y dada la relación entre concentración de T y rendimiento volitivo²⁹, la búsqueda de ejercicios priming que minimicen la fatiga pero que disminuyan el decrecimiento diario (circadiano) en la concentración de T para el momento de la competición se ha hipotetizado como una estrategia efectiva para la mejora del rendimiento de forma aguda.

3.4.3.2. Creatina quinasa (CK)

El nivel de enzimas en sangre es un marcador biológico objetivo del estado funcional de la musculatura. Una de las principales enzimas analizadas en las muestras sanguíneas es la CK. Esta enzima puede encontrarse tanto en el citosol como en las mitocondrias de tejidos con alta actividad energética. Se encarga de catalizar la fosforilación reversible

de la creatina en fosfato de creatina y el ADP en ATP³¹. Los niveles de CK en suero pueden verse elevados por daños en el tejido muscular como consecuencia de un ejercicio intenso y prolongado al que el organismo no está acostumbrado. Cuando la intensidad del ejercicio es extenuante, la estructura de las células de la musculatura se daña a nivel de sarcolema y discos z permitiendo un aumento de la CK en sangre debido a dos factores, uno metabólico³² y otro mecánico. Desde el punto de vista metabólico, las fibras musculares extenuadas presentan una disminución en la resistencia de la membrana que, acompañado de incrementos de los iones de calcio en el citosol debido a un mal funcionamiento de la bomba sodio potasio, provoca un incremento en la activación de los canales de potasio³³ que permiten que la CK se filtre al líquido intersticial y de ahí a la circulación a través del sistema linfático³². Por otro lado, el ejercicio intenso, principalmente las contracciones excéntricas resultan en perforaciones del sarcolema, discos z y del sarcómero que permiten la salida de la CK al torrente sanguíneo. Sin embargo, a pesar de la implicación fisiológica de esta enzima como marcador de daño muscular y de fatiga tras el ejercicio, su efectividad como marcador está en duda debido a que sólo su evaluación puede no ser un reflejo del daño estructural de las células musculares ya que puede verse afectado por los niveles de hidratación del sujeto o por la genética del deportista³⁴.

A pesar de las limitaciones que puede presentar, diferentes investigaciones han analizado los valores de CK en sangre tras ejercicios priming para identificar el posible daño muscular generado por la actividad^{12,25,98,112} (Tabla 4). Todas las investigaciones presentan un patrón similar. Después del ejercicio, los valores de CK en suero se ven incrementados significativamente respecto a los niveles basales. González-Hernández *et al.*¹¹² observaron incrementos de +62-90UI/L tras la realización de seis series con el 75%1RM en el ejercicio de sentadilla llevadas o no al fallo (volumen: 30 vs 60 repeticiones). Del mismo modo, Morán-Navarro, *et al.*²⁵ observaron el impacto del volumen y del índice de esfuerzo sobre los valores de CK observando mayores valores en el grupo 3x10(10) que en el grupo con menor volumen (3x5[10]) o con mismo volumen, pero no realizado hasta el fallo muscular (6x5[10]). Este incremento en la CK del grupo 3x10[10] se mantuvo hasta pasadas 24h tras la realización del ejercicio, lo que podría sugerir un daño muscular mantenido un mayor plazo de tiempo siendo de poco interés para minimizar la fatiga en el momento de la competición.

3.4.3.3. Lactato

La concentración de lactato en sangre es uno de los medidores bioquímicos más usados en las ciencias del deporte para evaluar la respuesta ante un determinado ejercicio. Es de vital importancia en deportes cíclicos de media o larga distancia dada su relación con el rendimiento en diferentes modalidades¹³⁵⁻¹³⁷, por la capacidad que presenta para determinar la intensidad de ejercicio¹³⁷⁻¹³⁹ y por ser un marcador de la fatiga muscular¹⁴⁰. Durante la contracción muscular, la molécula energética adenosina trifosfato

(ATP) es utilizada por la adenosina trifosfatasa (ATPasa) de la miosina para permitir el ciclo de puentes cruzados entre los filamentos de actina y miosina, lo que resulta en la producción de fuerza. Cuando aumenta el número de contracciones, la concentración de PCr disminuye, lo que hace necesario utilizar otros combustibles. En consecuencia, se recurre al glucógeno muscular y se activa la glucogenólisis, lo que conduce a un mayor flujo a través de la vía glucolítica con formación de piruvato y ATP. Con un ejercicio intenso, esta vía debe utilizarse para producir el ATP necesario para satisfacer la demanda del ciclo de puentes cruzados (aumento de la actividad de la miosina ATPasa) y de las bombas de iones musculares (aumento de las actividades de la Ca^{2+} -ATPasa y la Na^+ - K^+ -ATPasa). Esta vía energética acaba produciendo una acumulación de lactato que está asociada a una producción de hidrogeniones (H^+) que, a su vez, conduce a una caída del pH intramuscular o acidosis. Esta acidosis se ha sugerido como un mecanismo que limita el rendimiento muscular, debido a que entornos ácidos limitan la producción máxima de puentes cruzados causando disminuciones en la capacidad de producción de fuerza muscular. Estos entornos, así mismo, disminuyen la sensibilidad de la unión del Ca^{2+} a la troponina durante la contracción y la velocidad de contracción debido a reducciones en la actividad de la ATPasa de la miosina. Por otro lado, no sólo la acidosis asociada a la producción de energía vía glucólisis anaeróbica ha sido hipotetizada como mecanismo de fatiga. La propia acumulación de lactato intramuscular también ha sido investigada desde esta perspectiva¹⁴¹. En este sentido, la propia concentración de lactato intramuscular no parece afectar la función de los puentes cruzados en fibras musculares sin membrana celular¹⁴¹. Sin embargo, bajo condiciones más fisiológicas, la aplicación de 20-30mmol/L de lactato perjudicó ligeramente ($\Delta=-10,0\%$) la liberación de Ca^{2+} considerándose estos efectos de baja importancia en la producción de fatiga. Debido a este posible rol del lactato en la producción de fatiga (estudios recientes sugieren un rol ergogénico de esta molécula^{138,142}) diferentes investigaciones han observado su respuesta tras entrenamientos de fuerza^{98,143-147}, observándose incrementos en la [La] que vuelven a los niveles basales, aproximadamente, tras una hora de recuperación en función del volumen de entrenamiento^{98,146}, la carga externa¹⁴⁶, la velocidad de ejecución, el índice de esfuerzo¹⁴⁵ o el volumen de la masa muscular implicada¹⁴⁴. De acuerdo, con las investigaciones previas que analizaron la respuesta en [La] después de ejercicios de fuerza, los incrementos observados tras diferentes sesiones categorizadas como priming fueron de 2,6mmol a 8,5mmol tras la realización de tres series con el 3RM y 6RM en sentadilla, front squat y extensora de rodilla con el 100% de volumen o el 70% del volumen, respectivamente⁹⁸. La concentración de La^+ volvió a niveles basales 30 minutos después de la finalización del ejercicio en ambas condiciones.

3.4.4. EFECTOS DE LAS SESIONES PRIMING SOBRE EL ESTRÉS Y LA RECUPERACIÓN PERCIBIDA

Para poder identificar el estrés (y la recuperación) que han sufrido nuestros deportistas es necesario cuantificar la respuesta ante los estímulos de entrenamiento propuesto en las horas posteriores tras la finalización del ejercicio³⁹. Este proceso es vital para poder identificar si el ejercicio cumple con los objetivos de fatiga y recuperación en función de la fase de entrenamiento en la que se encuentra el atleta. De hecho, las mediciones subjetivas han demostrado ser sensibles a las modificaciones en las cargas de entrenamiento, tanto de forma aguda como de forma crónica¹⁴⁸. Más en profundidad, las principales subescalas de los cuestionarios utilizados que presentan mayor sensibilidad a los cambios en las carga de entrenamiento son el estrés no derivado del entrenamiento, la fatiga, la recuperación física, el bienestar general y el estado de forma percibidos¹⁴⁸. Desde el punto de vista de los ejercicios priming es imprescindible conocer la respuesta percibida de nuestros deportistas para saber si el estímulo de entrenamiento es excesivo o si nuestros deportistas han sido capaces de tolerar eficazmente la carga de entrenamiento propuesta y les permite maximizar el rendimiento para el momento de la competición⁷⁴. El proceso de monitorización de respuestas ideal estaría comprendido por una aproximación desde diferentes metodologías de trabajo¹⁴⁹ que permita la medición de diferentes marcadores de rendimiento, marcadores neuromusculares, hormonales y metabólicos, incluyendo también las percepciones subjetivas de los deportistas^{76,150} para obtener así una perspectiva holística de las respuestas al ejercicio. Debido a su rapidez y escaso coste, el uso de cuestionarios para identificar la percepción subjetiva del deportista del estrés percibido por el entrenamiento^{149,151,152}, así como su posterior recuperación¹⁵³⁻¹⁵⁵ y la percepción de bienestar¹⁵⁶ ha sido ampliamente utilizado para monitorizar la respuesta al entrenamiento, también tras diferentes sesiones priming (Tabla 5)^{26,75,87,89,93,94,116,145}.

Sólo una investigación ha evaluado la percepción subjetiva de la carga de entrenamiento inmediatamente después de una sesión priming¹⁴⁵ observando largos incrementos (ES=1,63) en la escala Omni-Res (0-10; 0=extremadamente fácil; 10=extremadamente duro) entre la primera y la tercera serie del entrenamiento. Pasados cinco minutos desde la finalización del entrenamiento Harrison *et al.*²⁶ observaron un incremento en el *physical feeling* tras las cuatro series de tres repeticiones en protocolo carga alta (67-87%1RM) usando una escala visual analógica (0-100).

Respecto a los efectos durante el mismo día tras una sesión priming sobre marcadores de percepción subjetiva del rendimiento y el bienestar podemos encontrar respuestas positivas tras diferentes configuraciones de ejercicio y con diferentes ventanas temporales de recuperación en comparación con los valores preevaluación. En torno a las 2h tras el ejercicio, la capacidad de rendimiento físico (PPC; *Physical Performance Capability*)

Tabla 5. Resumen de las características y resultados de los ejercicios priming sobre el esfuerzo, estrés y recuperación percibidos.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming			Índice de esfuerzo	Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad					
Harrison <i>et al.</i>	2021	15 hombres Edad: 24±3,6 años 1RM SQ: 139±25kg 1RM/BM :1,66±0,23Kg/BM >12 meses experiencia entrenamiento fuerza	Carga alta SQ	4x(2-3)	67-87%1RM	-	Escala VAS (0-100): Physical feeling Physical fatigue Physical performance Effect of activity on performance	↑Physical feeling	8h vs Pre: ↑physical performance capability ↑Physical fatigue	24 y 32h vs pre: ↑Physical fatigue ↓Physical performance
			Carga moderada SQ	4x3	65%	-		Sin cambios	8h vs Pre: ↔Physical fatigue	32h vs Pre: ↑Physical feeling ↔Physical fatigue
Dahl <i>et al.</i>	2021	10 corredores medio y largo fondo Edad: 26±3 años Altura: 1,84±0,08m Peso:73±9kg VO ₂ max: 72±7 ml/Kg/min	Carrera	15 min + 4x15 seg	60% VO ₂ max+ ritmo carrera (21-24km/h)	-	Percepción del estado de ánimo y del readiness antes de las pruebas (0-10)	-	5:30h vs C: ↔Estado de ánimo ↔Readiness	-
			SQ unilateral	2x3	3RM (~90%RM)	Fallo		-	5:30h vs C: ↔Estado de ánimo ↔Readiness	-
Rud <i>et al.</i>	2021	8 esquiadores de fondo Edad: 23±3 años Altura: 1,84±0,06m Peso:73±7kg VO ₂ max: 69±6 ml/Kg/min	5 min carrera (65-70% VO ₂ max) + pullover sentado y SQ	3x3	5RM (~82%RM)	-	Percepción del estado de ánimo y del readiness antes de las pruebas (0-10) RPE (6-20) TTE	-	5h vs C: ↔Estado de ánimo ↔Readiness ↔RPE	-

Tabla 5. Continuación.

Estudio	Año	Participantes	Intervención ejercicio priming				Índice de esfuerzo	Variables dependientes	Efectos post (0-1h)	Efectos mismo día (2-12h)	Efectos >1 día (20-48h)
			Tipo ejercicio	Volumen	Intensidad						
McGowan <i>et al.</i>	2016	13 nadadores (7 hombres y 6 mujeres) Hombres: edad:19±3 años Altura: 1,77±0,08m Peso: 71,0±7,3kg Mujeres: edad:17±3 años Altura: 1,72±0,10m Peso: 60,7±7,0kg	Sólo natación	1350m	Variable	-		-	-6:30h vs C: ↔RPE ↔Feeling scale	-	
			Natación + fuerza	1350m nado, 2 x 3 x 10m carrera, 2 x 2 saltos comba sin carga, 2 x 2 saltos comba con 6,5kg, 2 x 5 flexiones, 2 x 3 x 10 s patada mariposa y 2 x 3 lanzamientos medicinal	Peso corporal y chaleco 6,5kg	-	RPE (6-20) TT Feeling scale 11 puntos (+5 a -5)	-	6:30h vs C: ↔RPE ↔Feeling scale	-	
Mason <i>et al.</i>	2016	13 jugadores de rugby nivel nacional Edad: 18±5 años Peso 98,2±16,9kg >12 meses experiencia fuerza	Fuerza con bandas elásticas en SQ y BP	4x3 en ambos ejercicios	SQ: 66,8kg BP: 66,8Kg	-	Cuestionario readiness (1-5): Fatiga Dolor muscular Agresividad Estado de ánimo	-	2:30h vs Pre: ↔Fatiga +0,2 ↔Agresividad +0,5 ↔Dolor muscular +0,0 ↑Estado de ánimo +0,5	-	
Marrier <i>et al.</i>	2016	14 jugadores de rugby élite sub 18 Edad: 17±0,5 años Peso 86,4±13,2kg	Sesión Blow out: Aceleraciones SSG y 2x50m sprints	Duración: 30 min Dist: 1.700m Dist sprint:79m	-	-	SRSS (0-6) 4 dimensiones: Physical perf. Capability (PPC) Mental perf. Capability (MPC) Activation balance (AB) Overall stress (OS)	-	Post 2 (2h) vs Pre: Very likely moderate ↑PPC Likely small ↑AB Likely small ↓OS Post 3 (3h) vs Pre: ↔PPC Likely small ↓ MPC ↔AB Likely small ↑ OS	-	
Fry <i>et al.</i>	1995	19 halterófilos varones junior Edad: 17,3±1,9 años Peso 72,8±14,1kg	Clean pull Snatch pull	5x3 3x3	85%1RM	-	POMS	-	"responders" 6h vs "non- responders": ↑ansiedad	-	

aumentó moderadamente tras una sesión de campo en jugadores de rugby sub18. Esos incrementos en el PPC fueron acompañados de incrementos pequeños en el balance de activación (AB) y disminuciones del estrés general (OS: *Overall Stress*), desapareciendo estas respuestas positivas percibidas una hora después (3h post ejercicio)¹¹⁶. Por otro lado, Mason *et al.*⁷⁵, tras ejercicios de fuerza con bandas elásticas, observaron un incremento de +0.5 puntos en el estado de ánimo (escala Likert 1-5) sin incrementos en la fatiga percibida o el dolor muscular. Tras más horas de recuperación entre el ejercicio priming y la evaluación de la percepción subjetiva, observamos incrementos en el *physical feeling* y el *physical fatigue* tras priming con cargas altas, mientras que el *physical fatigue* fue similar tras el priming con cargas moderadas (65%1RM)²⁶. Sin embargo, si comparamos con un grupo control, los valores subjetivos evaluados son similares entre grupos^{87,89,93}.

3.5. AYUDAS ERGOGÉNICAS: INGESTA DE CAFEÍNA

La cafeína (1,3,7-trimetilxantina) es la sustancia psicoactiva más consumida en el mundo y se encuentra de forma natural en decenas de especies vegetales, como el café, el té y el cacao. Generalmente se ingiere en bebida en cafés, refrescos y bebidas energéticas¹⁵⁷. En el entorno deportivo, además de en forma líquida también puede ingerirse a través de suplementación pre-entrenamiento, cápsulas, chicles y/o geles¹⁵⁸. De hecho, los deportistas usan la cafeína con el objetivo de mejorar el rendimiento deportivo tanto en deportes de resistencia (triatlón, carreras larga distancia, ciclismo), deportes de equipo (fútbol, voleibol) como en deportes de fuerza (halterofilia)¹⁵⁹. Esta sustancia, sin embargo, estuvo prohibida por el COI desde 1984 y por WADA desde 2000 hasta el año 2004 donde pasó a estar clasificada como sustancia “en monitorización”. Hasta concentraciones de cafeína en orina superiores a 12µg/ml constituían una violación de la normativa en materia de dopaje¹⁶⁰. Además, su consumo tiende a incrementarse en poblaciones deportistas observándose un aumento del 21,0% en la concentración de cafeína en orina desde el año 2008 al 2015¹⁶¹, siendo consumida por tres de cada cuatro atletas antes o durante la competición¹⁵⁹.

Una vez ingerida, la cafeína se absorbe en el tracto gastrointestinal, principalmente en el intestino delgado y también en el estómago¹⁶². Su concentración se puede medir tanto en sangre como en saliva, aunque la concentración en saliva representa entre el 65 y el 85% de la concentración observada en plasma. La cafeína aparece en sangre en cuestión de minutos alcanzando las concentraciones máximas entre 30 y 120 minutos tras la ingesta debido a su capacidad hidrofóbica que permite un rápido acceso a través de las membranas biológicas¹⁶³. Además, su disponibilidad biológica es muy alta y no se ve influenciada su concentración en sangre en función de si la administración es oral o intravenosa¹⁶⁴, sugiriendo que el hígado no elimina la cafeína antes de su paso al torrente

sanguíneo. La vida media de la cafeína se encuentra en torno a las 4-6h con un rango de 1,5 a 10h¹⁶⁵. Este amplio rango se debe a que la enzima encargada de la metabolización de la cafeína en el hígado (CYP1A2) puede presentar variaciones genéticas y fenotípicas que determinan su ritmo de absorción y eliminación¹⁶⁶.

La cafeína ha demostrado diferentes mecanismos de acción, pero el más aceptado y principal mecanismo asociado a las mejoras en el rendimiento deportivo es su efecto sobre el SNC^{167,168}. Debido a su estructura molecular, la cafeína se adhiere a los receptores de adenosina inhibiendo sus efectos¹⁶⁸. La adenosina es la encargada de disminuir la concentración de neurotransmisores como la serotonina, dopamina, acetilcolina, norepinefrina y glutamato. Al inhibir los efectos de la adenosina, la ingesta de cafeína produce efectos positivos sobre el ánimo, la vigilancia, la concentración y el estado de alerta¹⁶⁹, explicando, al menos en parte, los incrementos observados en el rendimiento de diferentes deportes con factores limitantes y uso de sustratos energéticos diferentes¹⁷⁰⁻¹⁹⁰. Otro mecanismo de actuación que podría ser responsable de los incrementos en el rendimiento deportivo es el incremento en la movilización de iones de calcio¹⁹¹ que podría facilitar la producción de fuerza por unidad motora y beneficiar así la capacidad contráctil¹⁸². También se ha sugerido que la cafeína puede actuar, en parte, a través del aumento en la bomba sodio/potasio mejorando el proceso de acoplamiento de excitación-contracción manteniendo el potencial de membrana en la musculatura contraída¹⁹².

Está aceptado que para mejorar el rendimiento deportivo es necesario aplicar una dosis de, al menos, 3mg/kg entre 45-60 minutos previos al ejercicio. Esta dosis genera entre un 1 y un 8% de mejora del rendimiento en ejercicios aeróbicos y ejercicios con alta demanda glucolítica, sugiriendo que el mecanismo principal es la reducción del esfuerzo percibido, el aumento del estado de alerta y el tiempo de reacción debido a los efectos de la cafeína sobre el SNC¹⁷⁵. Sin embargo, si se quieren obtener efectos a nivel periférico, sería necesario aumentar la dosis de cafeína administrada (6-9mg/kg), aunque más investigación en torno a este aspecto ha sido recomendada¹⁷⁵.

Respecto a los efectos sobre la fuerza y potencia muscular, parece ser también una ayuda ergogénica efectiva para aumentar el rendimiento. Una reciente revisión mostró que la ingesta de cafeína incrementa la fuerza muscular (1RM) con una diferencia de medias estandarizada de 0,20 (95%CI: 0,03 - 0,36)¹⁸⁷, presentando un mayor efecto ergogénico sobre la fuerza muscular del tren superior que en el tren inferior. Algo sorprendente ya que la capacidad para reclutar unidades motoras, junto con menores percepciones del esfuerzo y mejoras en el estado de ánimo y de atención son potencialmente beneficiosas para la mejora de la fuerza muscular de grandes grupos musculares¹⁸⁷. De acuerdo con el más reciente *position stand* de la *International Society of Sports Nutrition* en cuanto al uso de cafeína durante el ejercicio¹⁹³, esta sustancia presenta un efecto ergogénico pequeño (cambios del 2-7% en el rendimiento) sobre la fuerza

muscular, estando medida a través de test de 1RM¹⁸⁷ o diferentes test isométricos o isocinéticos¹⁷³. En esa misma *position stand*¹⁹³ también analizaron los efectos de la cafeína sobre los movimientos balísticos y con alto desarrollo de potencia muscular, concluyendo que podría ser una estrategia nutricional efectiva para mejorar el rendimiento en saltos y lanzamientos, la velocidad ante cargas submáximas en ejercicios de fuerza, así como para “desplazar” la curva fuerza-velocidad indicando una mayor capacidad de los atletas para desplazar mayores (o mismas) cargas a mayores velocidades¹⁹³. También la ingesta de cafeína ha demostrado ser ergogénica sobre el salto vertical con un efecto similar a los efectos de cuatro semanas de entrenamiento de pliometría¹⁹⁴. A modo más concreto, y para destacar el potencial ergogénico de la cafeína sobre el salto vertical y la curva fuerza-tiempo asociada a su ejecución, Zbinden-Foncea *et al.*¹⁸⁵ analizaron sus efectos en el equipo nacional de voleibol chileno. En esta investigación identificaron que 7 de las 17 variables del salto analizadas incrementaron con la ingesta de 5mg/kg. Cabe destacar que se incrementó el tiempo de vuelo ($\Delta=+0,03\text{m/s}$), la fuerza concéntrica pico ($\Delta=+68,35\text{N}$), la potencia pico concéntrica ($\Delta=+385,6\text{W}$) así como la fuerza y velocidad en el momento que se alcanzó el pico de potencia¹⁸⁵. También, una reciente revisión ha demostrado que la ingesta de cafeína puede incrementar la RFD de forma aguda con un efecto similar al de 3-4 semanas de entrenamiento de fuerza¹⁹⁵. Esta variable presenta gran interés ya que en la mayoría de los deportes existe un tiempo limitado para producir fuerza debido a las interacciones con rivales o las normas del juego⁴⁸. En este sentido, en poblaciones deportistas la ingesta de 3-8mg/kg mejora la RFD durante tareas isométricas ($\Delta\%=+17,0\%$) e isocinéticas ($\Delta\%=+15,3\%$), pero no la RFD en saltos verticales (CMJ $\Delta\%=+2,2\%$). Sin embargo, sólo tres estudios fueron incluidos en el metaanálisis del CMJ¹⁹⁵.

Por todo ello, la ingesta de cafeína parece una estrategia eficaz para mejorar el rendimiento deportivo en aquellos deportes como la halterofilia o el powerlifting donde es necesario realizar contracciones musculares casi máximas o en aquellos deportes donde el incremento del salto vertical o la producción de fuerza en ventanas temporales de corta duración sea un factor relacionado con un mejor rendimiento deportivo.

Dada la heterogeneidad en las respuesta observadas sobre los marcadores de rendimiento y la percepción subjetiva del estado de recuperación y estrés tras los ejercicios priming, así como el desconocimiento de los efectos de la ingesta de cafeína tras este tipo de ejercicio, la presente tesis doctoral presenta los siguientes objetivos e hipótesis.

4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

4.1. OBJETIVOS

4.1.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar los efectos sobre el desarrollo de fuerza y potencia muscular a lo largo del mismo día tras el uso diferentes estrategias competitivas basadas en ejercicio o en la ingesta de cafeína.

4.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Identificar y comparar los efectos de dos sesiones priming con diferentes cargas externas sobre el rendimiento neuromuscular y el estrés y recuperación percibidos tras 6h de recuperación.
- 2) Identificar los efectos de 3mg/kg de cafeína sobre el rendimiento, cinética, cinemática y estrategia de saltos verticales bilaterales y unilaterales.
- 3) Identificar, a lo largo del mismo día, la evolución de la fatiga, rendimiento, cinética, cinemática, estrategia del salto vertical y percepción subjetiva del estrés y la recuperación tras un ejercicio priming únicamente o en combinación con la ingesta de 3mg/kg de cafeína.
- 4) Identificar los efectos de un ejercicio priming de bajo volumen y alta carga, usando la velocidad de ejecución como método para controlar la fatiga, sobre el rendimiento de salto vertical y la percepción subjetiva de estrés y recuperación, así como relacionar el cambio en las variables del salto vertical y los valores de fuerza dinámica de tren inferior.

4.2. HIPÓTESIS

1) Una sesión priming realizada durante la mañana mejorará el rendimiento neuromuscular y la preparación psicológica seis horas después de finalizar la sesión.

2) La ingesta de 3mg/kg de cafeína aumentará las variables de la cinética y cinemática de la fase concéntrica del CMJ bilateral y unilateral, ya que esta dosis parece aumentar las acciones producidas a alta velocidad y con una baja resistencia externa.

3) La realización de una sesión priming sola o en combinación con 3mg/kg de cafeína producirá un aumento del rendimiento, así como cambios en la cinética y cinemática del salto vertical acompañado de mejoras en la preparación psicológica, aunque con diferentes respuestas entre los participantes.

4) La respuesta al ejercicio priming será variable entre los participantes. La percepción subjetiva del estrés y la recuperación será favorecida y existirá una relación entre el nivel de fuerza de los participantes y la respuesta al ejercicio.

5. ESTUDIOS QUE CONFORMAN LA TESIS DOCTORAL

La presente Tesis Doctoral está compuesta por cuatro investigaciones experimentales desarrolladas en los laboratorios de las Universidades Camilo José Cela y Francisco de Vitoria (Madrid). En todas las investigaciones se ha seguido un diseño experimental de medidas repetidas donde los participantes actuaron como grupo control. En el caso de las investigaciones con ingesta de cafeína fueron también controladas con placebo y doble ciego. En el momento de publicación de la presente tesis doctoral se han publicado cuatro artículos científicos en revistas con factor de impacto en el "Journal Citation Reports" (JCR) en las áreas de ciencias del deporte y nutrición. En la Tabla 6 podemos observar los títulos y factor de impacto JCR. A continuación, en la Tabla 7 podemos encontrar las características del diseño de investigación, las variables dependientes analizadas, las características de los participantes y los principales hallazgos.

Tabla 6. Publicaciones JCR derivadas de los estudios de la presente Tesis Doctoral.

Estudio	Título	Factor de Impacto JCR	Cuartil
1	González-García, J., Giráldez-Costas, V., Ruiz-Moreno, C., Gutiérrez-Hellín, J., & Romero-Moraleda, B. (2021). Delayed potentiation effects on neuromuscular performance after optimal load and high load resistance priming sessions using velocity loss. <i>European Journal of Sport Science</i> , 21(12), 1617-1627.	4,050 (2021)	Q1
2	Merino Fernández, M., Ruiz-Moreno, C., Giráldez-Costas, V., Gonzalez-Millán, C., Matos-Duarte, M., Gutiérrez-Hellín, J., & González-García, J. (2021). Caffeine Doses of 3 mg/kg Increase Unilateral and Bilateral Vertical Jump Outcomes in Elite Traditional Jiu-Jitsu Athletes. <i>Nutrients</i> , 13(5), 1705.	5,429 (2021)	Q1
3	González-García, J., Aguilar-Navarro, M., Giráldez-Costas, V., & Romero-Moraleda, B. (2022). Time Course of Jump Recovery and Performance After Velocity-Based Priming and Concurrent Caffeine Intake. <i>Research Quarterly for Exercise and Sport</i> , 1-13.	2,070 (2022)	Q3
4	González-García, J., Latella, C., Aguilar-Navarro, M., & Romero-Moraleda, B. (2022). Effects of resistance priming on same day jumping performance: influence of strength level. <i>International Journal of Sports Medicine</i> , (AAM). Effects of resistance priming on same day jumping performance: influence of strength level.	2,997 (2022)	Q2

Tabla 7. Resumen del diseño, variables y resultados principales de los estudios.

Estudio	Diseño	Participantes	Variables independientes	Variables dependientes	Análisis estadístico	Principales resultados
1	Diseño crossover aleatorizado	10 hombres y 1 mujer activos sanos con experiencia en fuerza	Condición: 80%1RM, OL y Control Momento: Pre y 6h post	CMJ Potencia y velocidad media OL Potencia y velocidad media 80%1RM SRSS	ANOVA una vía MR (% cambio) y ANOVA dos vías MR (valores absolutos) <i>d</i> de Cohen MDC y SWC	Incremento CMJ, velocidad y potencia con 80%1RM tras priming 80%1RM
2	Diseño crossover, doble ciego y controlado con placebo	8 hombres y 8 mujeres atletas de élite de jiu-jitsu tradicional	Condición: Caf (3mg/kg) y Pla	Variables cinéticas, cinemáticas, de rendimiento y de ejecución de CMJ bilateral y unilateral	Prueba T muestras relacionadas y <i>d</i> de Cohen	Aumento CMJ bilateral y variables de fase excéntrica y concéntrica tras cafeína. Cambios estrategia salto bilateral tras cafeína. Incremento RSI-mod, tiempo vuelo, altura de salto y FT:CT en CMJ unilateral tras ingesta cafeína
3	Diseño crossover, doble ciego y controlado con placebo	9 hombres y 2 mujeres activos sanos con experiencia en fuerza	Condición: Priming, PrimingCaf y Control Momento: Pre, Post, 2h, 4h y 6h	Variables cinéticas, cinemáticas, de rendimiento y de ejecución de CMJ bilateral SRSS	ANOVA dos vías MR <i>d</i> de Cohen SWC	Disminución de rendimiento producida por priming recuperada a las 2h. Variabilidad intrasujeto en el CMJ a las 6h. PPC y AB mayores a las 6h tras ambas condiciones comparado con control
4	Diseño de medidas repetidas aleatorio y contrabalanceado	10 hombres y 4 mujeres activos sanos con experiencia en fuerza	Condición: Priming y Control Momento: Pre, Post y 6h	Variables cinéticas, cinemáticas, de rendimiento y de ejecución de CMJ bilateral SRSS	ANOVA dos vías MR <i>d</i> de Cohen SWC Correlación de Pearson y regresión lineal	Variabilidad intrasujeto en el CMJ a las 6h. PPC y AB incrementada a las 6h respecto a pre. 1RM relacionada positivamente con cambios en métricas de salto en post y a las 6h.

5.1. ESTUDIO 1. EFECTOS DE POTENCIACIÓN TARDÍA SOBRE EL RENDIMIENTO NEUROMUSCULAR TRAS EJERCICIOS PRIMING CON CARGA ÓPTIMA Y CON ALTA CARGA EXTERNA

5.1.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Identificar y comparar los efectos de dos sesiones priming con diferentes cargas externas sobre el rendimiento neuromuscular y el estrés y recuperación percibidos tras 6h de recuperación.

5.1.2. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1.2.1. Participantes

Se reclutaron once participantes, diez hombres y una mujer, para este estudio (Media \pm SD: Masa corporal: 77,0 \pm 8,9kg; Altura corporal: 1,76 \pm 0,08 m; Índice de masa corporal (IMC): 24,9 \pm 1,8; Edad: 24,6 \pm 4,1 años; Repetición máxima de media sentadilla: 139,8 \pm 22,4kg; Carga óptima de media sentadilla: 60,9 \pm 5,8%1RM). Los participantes fueron informados de los procedimientos experimentales y de los posibles riesgos y beneficios asociados a su participación. Además, firmaron un consentimiento informado por escrito para participar en esta investigación. El estudio y los procedimientos de consentimiento informado fueron aprobados por el Comité de Ética de la Universidad Camilo José Cela de acuerdo con la última versión de la Declaración de Helsinki.

5.1.2.2. Diseño experimental

Los participantes visitaron el laboratorio en cinco ocasiones diferentes a lo largo de un periodo de 10 días. Se realizaron dos ensayos de familiarización y tres experimentales (control, carga óptima y 80%RM). Las condiciones experimentales se completaron en un diseño cruzado aleatorizado separado por 48 h. Para evaluar los efectos de la potenciación tardía en el rendimiento, las condiciones experimentales se llevaron a cabo por la mañana, seguidas de 6h de descanso. Después de este periodo, se realizaron tres evaluaciones de CMJ, velocidad media con la carga óptima (MV_{OL}), velocidad media con el 80%RM (MV_{80RM}), potencia media con la carga óptima (MP_{OL}) y potencia media con el 80%RM (MP_{80RM}) en el ejercicio de media sentadilla. También se recogió un cuestionario antes del entrenamiento de resistencia de preparación (por la mañana) y antes de la evaluación (por la tarde) para identificar el estado de recuperación y estrés percibidos. Se solicitó a los participantes que se abstuvieran de realizar actividad física, que reprodujeran los patrones de sueño y los hábitos alimentarios durante los 10 días del periodo de experimental. También se evitó la ingestión de cafeína y la suplementación nutricional desde la semana anterior a la familiarización y durante el periodo de investigación.

5.1.2.3. Sesiones de familiarización

Durante la primera sesión, los participantes firmaron el consentimiento informado. Su 1RM y carga óptima (OL) se determinaron en una máquina Smith (Technogym, Barcelona, España) utilizando un encoder rotatorio¹⁹⁶. El OL se definió como la carga que maximizaba la producción de potencia en una prueba incremental de siete cargas (30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90% 1RM). La determinación de la carga que maximizaba la producción de potencia se llevó a cabo sin la combinación del encoder con la plataforma de fuerza. Cada participante realizó dos repeticiones con cada carga. El valor medio se introdujo en el análisis. Para facilitar la accesibilidad a los participantes, esta sesión se realizó por la mañana. Antes de la determinación del 1RM y el OL, los participantes realizaron un calentamiento estandarizado que consistió en cinco minutos de ciclismo en un ergómetro con un índice de esfuerzo percibido (RPE) de 5/10, seguido de tres minutos de movilidad de cadera y tobillo. A continuación, se realizaron diez sentadillas con peso corporal y dos series de aproximación de seis y cuatro repeticiones con 30 y 40kg²⁵. Esta rutina de calentamiento fue la misma durante todo el estudio.

Durante la segunda sesión, los participantes visitaron el laboratorio por la tarde (14:00-16:00 pm) para realizar las mismas evaluaciones. Los objetivos de esta segunda sesión de familiarización eran minimizar el efecto de aprendizaje durante la evaluación y obtener datos para el análisis de fiabilidad y reproducibilidad.

5.1.2.4. Condiciones experimentales

El estrés y recuperación percibidos se evaluó mediante una adaptación del *Short Recovery Stress Scale* (SRSS)¹¹⁶ entre las 8:00 y las 10:00 am. La capacidad de rendimiento físico (PPC), la capacidad de rendimiento mental (MPC), el equilibrio de la activación (AB) y el estrés general (OS) se evaluaron mediante una escala de siete puntos desde 0 (nada) hasta 6 (extremo). Se aplicaron tres condiciones diferentes a lo largo del estudio (Tabla 8): una condición de control (CON), en la que no se realizó ningún ejercicio, y dos condiciones experimentales: carga óptima (OL) y 80%RM (80% RM). Para la intervención OL, se realizaron dos series con una pérdida de velocidad del -20% con respecto a la repetición más rápida ante la carga externa óptima. Para la intervención del 80% RM, se realizaron dos series con una pérdida de velocidad del -20% con respecto a la mejor repetición de media sentadilla con el 80% RM. Este umbral de pérdida de velocidad se seleccionó porque mayores pérdidas de velocidad conducen a un aumento de los marcadores bioquímicos de fatiga²⁵. Las características de los ejercicios priming se observan en la Tabla 8. Tras cada ejercicio priming se midió el RPE utilizando la escala CR-10 de Borg¹⁹⁷.

Tabla 8. Características de los ejercicios priming del estudio 1.

	OL		80% RM	
	Media	SD	Media	SD
Carga que maximiza el desarrollo de potencia (%RM)	60,9	5,8	-	-
Repeticiones Serie 1	10,4	4,1	4,4	1,5
Repeticiones Serie 2	8,9	3,3	4,7	1,6
Carga de entrenamiento (UA)	2111	617	1352	658
Repetición más rápida serie 1 (m/s)	0,61	0,1	0,46	0,08
Repetición más lenta serie 1 (m/s)	0,49	0,1	0,35	0,06
Pérdida velocidad serie 1 (%)	20,6	4,8	25,2	6,1
Repetición más rápida serie 2 (m/s)	0,61	0,1	0,45	0,1
Repetición más lenta serie 2 (m/s)	0,48	0,1	0,34	0,08
Pérdida velocidad serie 2 (%)	22,3	3,5	24,3	4,9
RPE	7,1	1,8	7,9	2,2

Carga de entrenamiento= series x repeticiones x RPE, Pérdida velocidad = media del porcentaje de pérdida de velocidad entre la repetición más rápida y la más lenta de la serie; UA=unidades arbitrarias; OL=optimal load; RM=repetición máxima; RPE: escala de esfuerzo percibido (Rate of Perceived Exertion).

5.1.2.5. Pruebas y mediciones

Los participantes descansaron durante seis horas tras cada condición. Durante este tiempo se les pidió que evitaran cualquier esfuerzo físico y que repitieran la ingesta de nutrientes. Los participantes podían salir del laboratorio y comer o beber. Sin embargo, debían replicar la ingesta tanto de líquidos como nutricional en todas las condiciones. Para asegurar el seguimiento de estas instrucciones, se les preguntó por su ingesta en cada visita al laboratorio. La evaluación del rendimiento neuromuscular comenzó entre las 14:00 y las 16:00 horas. Dado que la carga influye en la relación fuerza-potencia-velocidad, se evaluó el rendimiento neuromuscular frente a cargas bajas, medias y altas para proporcionar información sobre los posibles cambios a lo largo de todo el perfil carga-velocidad⁵⁴. La altura del CMJ se seleccionó como un marcador de rendimiento de baja fuerza-alta velocidad⁵⁵, la potencia y la velocidad (aproximadamente 1 m/s) con OL se seleccionaron como un marcador de fuerza moderada-velocidad moderada, y la potencia y la velocidad con un 80% de MR se utilizaron como un marcador de rendimiento de alta fuerza-baja velocidad¹⁹⁸.

5.1.2.6. Mediciones con carga baja

Todos los participantes realizaron tres intentos máximos en el test CMJ (separados por 1 minuto)⁹⁸. Se pidió a los sujetos que mantuvieran las manos en las caderas durante el salto. No se permitió la flexión de la rodilla durante la fase de vuelo. Si no se cumplía alguno de estos parámetros, se repetía el ensayo. Todos los intentos se realizaron en una plataforma de fuerza portátil (Quattrojump 92866AA, Kistler, Alemania). La altura del salto se calculó utilizando la velocidad instantánea y el desplazamiento del centro de gravedad, que se derivó del componente vertical de la fuerza de reacción del suelo y de la masa corporal del participante [Altura del salto= (velocidad de despegue²) / (2 x gravedad)] utilizando una hoja de cálculo de Excel (2013; Microsoft Corporation, Albuquerque, NM) previamente publicada¹⁹⁹.

5.1.2.7. Mediciones con carga moderada y alta

Tras la evaluación del CMJ, los participantes realizaron tres repeticiones en el ejercicio de media sentadilla con el OL y el 80% RM. Se asignaron dos minutos de descanso pasivo entre los intentos. La velocidad y la potencia medias se midieron en la fase concéntrica del movimiento utilizando un encoder rotatorio (Isocontrol, EV-Pro, España) con una frecuencia de 500Hz. Las repeticiones se consideraron válidas si las rodillas generaron un ángulo de 90° durante la sentadilla. Además, el rango de movimiento se controló mediante el encoder, presentando feedback visual instantáneo de los cm de cada repetición. La técnica de ejecución y las instrucciones verbales fueron estandarizadas y supervisadas por dos investigadores experimentados para mayor seguridad de los participantes y fiabilidad de las condiciones experimentales. Se pidió a los participantes que realizaran la fase excéntrica de forma controlada y que desplazasen la barra en la fase concéntrica con la máxima velocidad posible. No se permitió saltar. Se utilizó la media de los tres intentos para los análisis estadísticos dada su mayor reproducibilidad que el salto máximo²⁰⁰.

5.1.2.8. Análisis estadístico

Las pruebas estadísticas se realizaron con el programa IBM SPSS Statistics para Macintosh, versión 26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, Estados Unidos). El tamaño de la muestra se estimó utilizando el software G* Power v3.1. La estimación del tamaño de la muestra reveló que ocho participantes eran suficientes para un ANOVA de medidas repetidas, asumiendo un eta-cuadrado parcial (η_p^2) de 0,573 para el CMJ, como se informó en investigaciones anteriores⁷³ con una correlación de Pearson de 0,94 (datos obtenidos durante la familiarización) y valores del 5% y el 1% para los errores de tipo I y tipo II, respectivamente. Los datos reportados durante la familiarización se distribuyeron normalmente según lo determinado por la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$ para todas las variables). Además, los supuestos de varianza y esfericidad se comprobaron con las pruebas de Levene y Mauchly. El coeficiente de correlación intraclase (ICC), la correlación r de Pearson, el error estándar de la medida (SEM) y el

cambio mínimo detectable (MDC) con un intervalo de confianza del 90% (90%CI)²⁰¹ se calcularon utilizando una hoja de cálculo de Excel (2013; Microsoft Corporation, Albuquerque, NM)²⁰². Los valores del ICC se analizaron según los siguientes criterios: baja fiabilidad, <0,5; moderada fiabilidad, 0,5-0,75; buena fiabilidad, 0,75-0,90; y excelente fiabilidad, >0,90²⁰³. La interpretación de los valores de r de Pearson fue: grande, mayor de 0,5; moderada, entre 0,5 y 0,3; pequeña, entre 0,3 y 0,1; y trivial, menor de 0,1. El valor global aceptable para este estudio fue de 0,90²⁰⁴. Para identificar los efectos de las condiciones en los datos de un solo punto temporal se realizó un ANOVA de medidas repetidas. Para los datos de dos puntos temporales se utilizó un ANOVA de medidas repetidas de dos vías (3x2). Se calcularon los valores de eta-cuadrado parcial (η_p^2), clasificados de la siguiente manera: pequeño: 0,01, medio: 0,06 y grande: 0,14²⁰⁵. Se utilizó la prueba de Bonferroni para comprobar las comparaciones por pares. Además, se calcularon las magnitudes estimadas (d de Cohen [IC90%]) entre parejas. Estas magnitudes estimadas se clasificaron de la siguiente manera: $\leq 0,2$ trivial, $\geq 0,2-0,6$ pequeño, $\geq 0,6-1,2$ moderado, $\geq 1,2-2,0$ grande, y ≥ 2 muy grande²⁰⁶. Los resultados se expresan como media \pm desviación estándar (DS). El nivel de significación se fijó en $p < 0,05$.

5.1.3. RESULTADOS

El análisis de fiabilidad intra-sujeto mostró que todos los resultados presentaban un alto ICC y coeficiente de correlación de Pearson: CMJ (ICC=0,95[0,83-0,98]; $r=0,94$ [0,79-0,98]; SEM = 1,3 cm; MDC = 3,06 cm), + (ICC=0,94[0,81-0,98]; $r=0,93$ [0,79-0,98]; SEM = 35,6 W; MDC = 82,79 W), MV_{OL} (ICC=0,95[0,82-0,99]; $r=0,95$ [0,81-0,99]; SEM = 0,04 m/s; MDC = 0,09 m/s), MP_{80RM} (ICC=0,99[0,98-1,00]; $r=0,99$ [0,97-1,00]; SEM = 38,7 W; MDC = 89,92 W) and MV_{80RM} (ICC=0,95[0,84-0,98]; $r=0,94$ [0,74-0,98]; SEM = 0,03m/s; MDC = 0,06 m/s).

Los resultados del ANOVA de una vía mostraron un efecto principal de la condición sobre la altura de salto ($F_{2,20}=11,58$; $p < 0,001$; $\eta_p^2=0,537$). La sesión priming con el 80%RM aumentó la altura del CMJ en comparación con la CON ($p=0,006$; $\Delta=6,5\%$ [3,4-9,5]; $d=0,35$ [0,19-0,51]) (Tabla 9). Como se muestra en la Figura 4, el porcentaje de cambio en el CMJ fue mayor después de la intervención del 80% de MR que el de CON ($p < 0,001$) y OL ($p=0,030$), sin diferencias entre los dos últimos grupos ($p=0,228$).

No se observó ningún efecto principal de la intervención sobre el MP_{OL} ($F_{1,20}=2,55$; $p=0,132$; $\eta_p^2=0,203$) o la MV_{OL} ($F_{2,20}=2,87$; $p=0,080$; $\eta_p^2=0,223$). Del mismo modo, el análisis del porcentaje de cambio no mostró diferencias significativas en la potencia ($F_{2,20}=2,31$; $p=0,125$; $\eta_p^2=0,188$) ni la velocidad media ($F_{2,20}=2,57$; $p=0,102$; $\eta_p^2=0,204$).

Tabla 9. Valores de las variables de rendimiento deportivo tras los ejercicios priming.

	CON		OL		p vs CON	80% RM		p vs CON	p vs OL
	Media	SD	Media	SD		Media	SD		
CMJ (cm)	33,00	5,30	33,80	5,00	0,102	35,00	4,40	0,006*	0,062
MP_{OL} (W)	636,4	146,8	677,8	199,7	0,316	660,4	154,2	0,075	1,000
MV_{OL} (m/s)	0,61	0,08	0,64	0,11	0,293	0,63	0,09	0,058	1,000
MP_{80RM} (W)	569,6	182	590,6	197,6	1,000	618,1	180,1	0,044*	0,436
MV_{80RM} (m/s)	0,44	0,09	0,44	0,09	1,000	0,47	0,09	0,040*	0,061

* Diferencias significativas respecto a CON ($p < 0,05$).

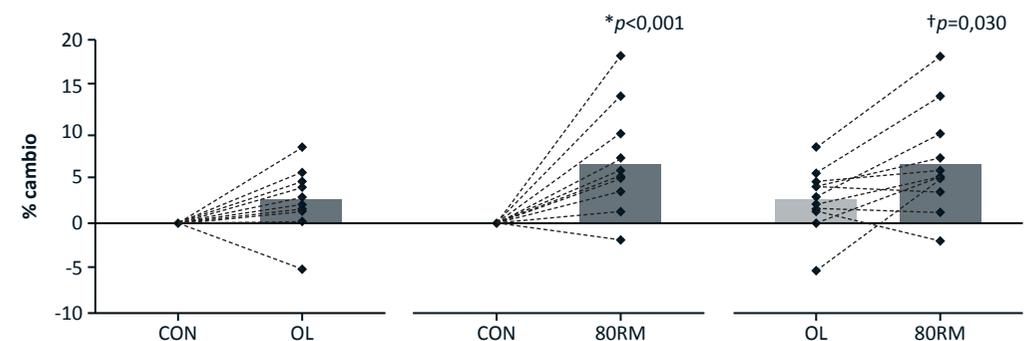


Figura 4. Cambio porcentual individual (líneas) y medio (barras) en la altura de salto en el CMJ tras las diferentes condiciones. †=diferencias significativas respecto a OL; *= diferencias significativas respecto a CON. // OL: optimal load; CON: Control

Hubo un efecto principal de la intervención en la MV_{80RM} ($F_{2,20}=4,18$; $p=0,030$; $\eta_p^2=0,295$). Tras el ejercicio priming con el 80%RM, la MV_{80RM} ($p=0,004$; $\Delta=8,1\%$ [3,2-13,3]; $d=0,32$ [0,13-0,52]) y la MP_{80RM} ($p=0,044$; $\Delta=9,7\%$ [4,0-15,6]; $d=0,24$ [0,10-0,37]) fueron mayores que en la condición CON (Figura 5). Además, el priming con OL no incrementó ni la MP_{80RM} ($p=1,00$; $\Delta=3,7\%$ [-3,4-11,3]; $d=0,09$ [-0,09-0,28]) ni la MV_{80RM} ($p=1,00$; $\Delta=1,6\%$ [-4,2-7,7]; $d=0,06$ [-0,18-0,31]) comparado con CON. Además, se obser-

vó un efecto principal en el porcentaje de cambio de la MP_{80RM} ($F_{2,20}=4,30$; $p=0,028$; $\eta_p^2=0,301$) y la MV_{80RM} ($F_{2,20}=4,98$; $p=0,018$; $\eta_p^2=0,332$). Tras la sesión con el 80%RM, el cambio en la MP_{80RM} ($p=0,025$) y la MV_{80RM} ($p=0,020$) fue mayor que en el grupo CON. No se identificaron diferencias significativas en el porcentaje de cambio entre OL y CON ($p>0,05$).

Sólo se observó un efecto principal del tiempo en el balance de activación ($F_{1,9}=12,69$; $p=0,006$; $\eta_p^2=0,585$) que fue mayor durante la tarde ($p=0,006$), sin ningún efecto de la intervención o de la interacción sobre ninguna otra variable ($p>0,05$).

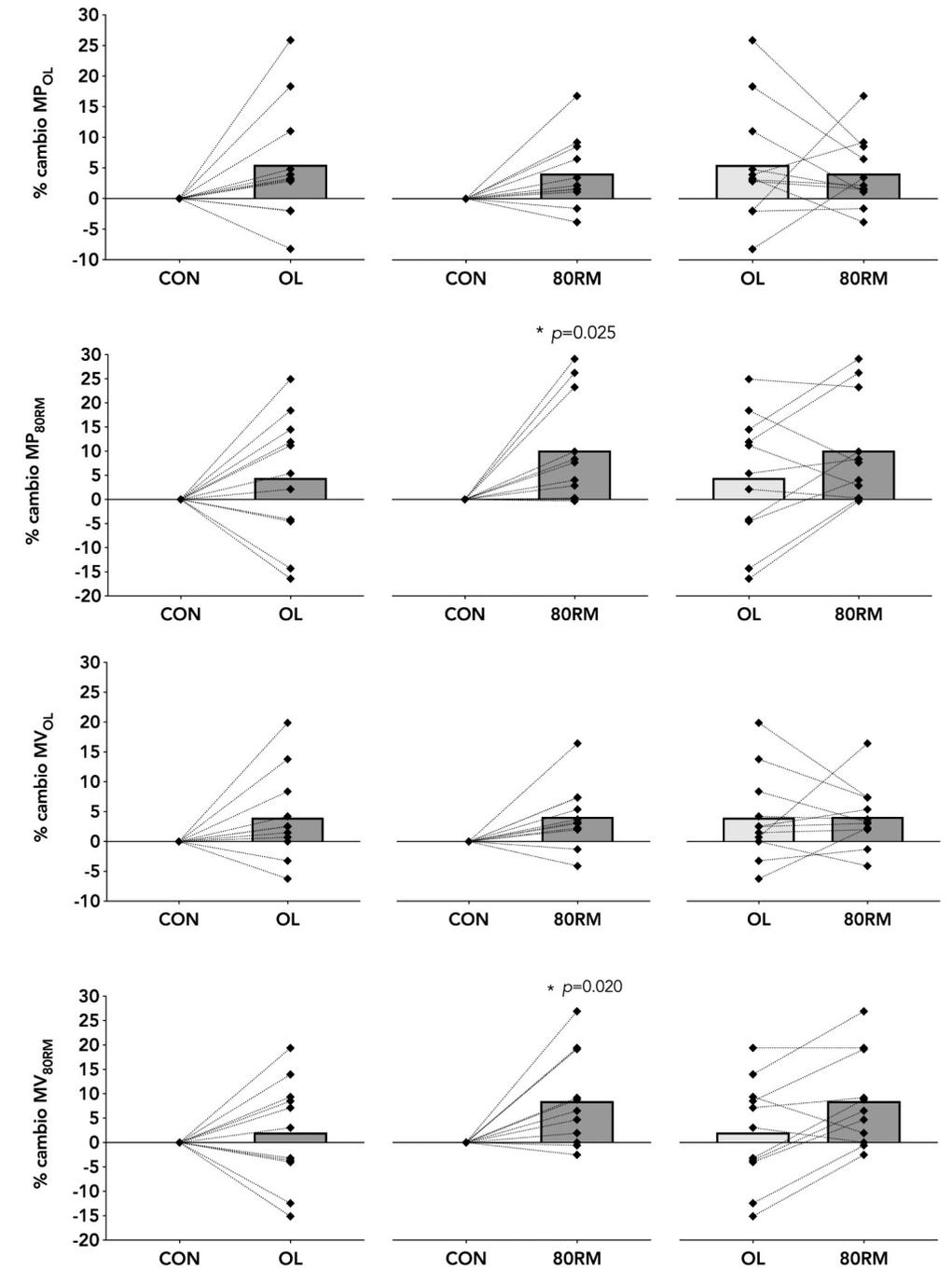


Figura 5. Cambio porcentual individual (líneas) y medio (barras) en la velocidad y potencia medias con OL y 80%1RM tras las condiciones. // *= diferencias significativas respecto a CON. OL=optimal load.

5.2. ESTUDIO 2. LA INGESTA DE 3MG/KG DE CAFEÍNA INCREMENTA EL RENDIMIENTO EN SALTOS VERTICALES UNILATERALES Y BILATERALES EN ATLETAS DE JIU-JITSU TRADICIONAL DE ÉLITE

5.2.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Identificar los efectos de 3mg/kg de cafeína sobre el rendimiento, cinética, cinemática y estrategias empleadas en saltos verticales bilaterales y unilaterales.

5.2.2. MATERIAL Y MÉTODOS

En esta investigación se utilizó un diseño cruzado, doble ciego y controlado con placebo para determinar los posibles efectos ergogénicos de 3mg/kg de cafeína en el rendimiento, la cinética y la cinemática del CMJ bilateral y unilateral. Las variables dependientes recogidas incluyeron variables típicas del CMJ, así como métricas alternativas de las fases concéntrica y excéntrica, tal y como se clasificaron previamente²⁰⁷.

Dieciséis atletas de élite de jiu-jitsu tradicional se inscribieron en esta investigación. Los participantes incluidos fueron ocho hombres (altura=176,87±6,31cm; peso=72,59±10,11kg; edad=21,50±4,75años; experiencia de entrenamiento=11,88±3,94 años; entrenamiento semanal=11,63±1,85 horas/semana) y ocho mujeres (165,63±6,39 cm; 64,86±6,33kg; 20,63±3,20años; 15,38±2,92 años de experiencia en el entrenamiento; 11,75±2,19 horas/semana). Sólo se introdujeron catorce participantes en el análisis para el salto unilateral debido a errores en la importación al software de las curvas fuerza-tiempo. Todos los participantes cumplieron los siguientes criterios de inclusión: a) edad entre 18 y 35 años; b) no consumir cafeína o consumir poca cafeína de forma habitual (<0,99 mg/kg/BM/día). Los participantes fueron excluidos si informaban de a) el uso de medicamentos en el mes anterior; b) una historia previa de enfermedades cardiopulmonares y/o musculoesqueléticas; o c) el uso de píldoras anticonceptivas orales, ya que pueden interferir con la farmacocinética de la cafeína. Los participantes fueron informados de los procedimientos experimentales y de los posibles riesgos y beneficios asociados a su participación. Además, firmaron el consentimiento informado por escrito para participar en esta investigación. El estudio y los procedimientos fueron aprobados por el Comité de Ética de la Universidad Francisco de Vitoria según la última versión de la Declaración de Helsinki.

5.2.2.1. Procedimientos experimentales

Cada atleta realizó dos pruebas experimentales idénticas, separadas por una semana para permitir la recuperación completa y el lavado de sustancias. Cada participante realizó tres CMJ con ambas piernas, tres CMJ con la pierna derecha y tres CMJ con la pierna izquierda en una plataforma de fuerzas. Se programaron tres minutos de descanso entre cada intento. Sesenta minutos antes de la recogida de datos, los participantes ingirieron una cápsula no identificable con cafeína anhidra (3mg/kg, Bulk Powders 100% pureza, Colchester, Reino Unido) o una sustancia inerte (Placebo, celulosa, Guinama, Valencia, España). Este plazo se eligió ya que se ha mostrado como adecuado para maximizar la concentración de cafeína en sangre¹⁸⁰. Esta dosis se seleccionó debido a los beneficios de aumentar el rendimiento mecánico de las extremidades inferiores sin aumentar los posibles efectos secundarios asociados al consumo de cafeína²⁰⁸. Las cápsulas fueron preparadas por un investigador externo para garantizar el doble ciego. Se asignó un código alfanumérico a cada ensayo para cegar la condición del ensayo a los participantes y a los investigadores. Esta codificación no se reveló hasta que se analizaron los datos.

Tabla 10. Reproducibilidad de las variables de rendimiento, cinéticas y cinemáticas del CMJ bilateral y unilateral.

	Bilateral			Izquierda			Derecha		
	ICC	SEM	MDC CI 95%	ICC	SEM	MDC CI 95%	ICC	SEM	MDC CI 95%
Conc MF/BM [N/kg]	0,69	0,5	1,4	0,92	1,8	5,0	0,89	1,5	4,2
Conc MF [N]	0,98	35,7	98,7	0,99	19,6	54,3	0,97	31,0	85,8
Conc PF/BM [N/kg]	0,81	0,5	1,5	0,90	0,7	2,0	0,83	0,8	2,2
Conc PF [N]	0,99	34,9	96,6	0,96	49,3	136,7	0,93	61,5	170,5
Conc MP/BM [W/kg]	0,88	0,9	2,6	0,93	0,9	2,6	0,62	1,8	5,0
Conc MP [W]	0,98	57,2	158,7	0,97	54,3	150,6	0,77	126,8	351,6
FT [ms]	0,92	13,8	38,2	0,97	11,9	33,1	0,91	18,8	52,0
CT [ms]	0,76	62,3	172,7	0,85	74,7	207,0	0,82	105,5	292,4
FT:CT	0,76	0,0	0,1	0,82	0,0	0,1	0,56	0,1	0,2
JH (Tiempo vuelo) [cm]	0,96	1,5	4,0	0,97	1,0	2,9	0,89	1,7	4,7
JH (Imp-Mom) [cm]	0,97	1,5	4,1	0,93	1,8	5,1	0,56	3,1	8,6
PP/BM [W/kg]	0,98	0,9	2,6	0,92	2,3	6,5	0,64	3,2	8,9
PP [W]	0,99	67,9	188,3	0,96	136,9	379,4	0,78	222,7	617,4
Conc Dur [ms]	0,84	20,4	55,5	0,85	23,2	64,4	0,82	25,4	70,5
Impulso conc [Ns]	0,99	4,4	12,1	0,97	6,0	16,7	0,78	12,9	35,8
Conc P Vel [m/s]	0,96	0,1	0,2	0,91	0,1	0,3	0,54	0,2	0,5
Conc RFD/BM [N/s/kg]	0,92	6,1	16,8	0,83	5,2	14,3	0,53	6,3	17,5
Conc RFD [N/s]	0,90	415,1	1150,5	0,88	327,0	906,3	0,65	434,5	1204,3
Conc RPD/BM [W/s/kg]	0,66	19,6	54,2	0,95	19,9	55,2	0,84	15,4	42,7
Conc RPD [W/s]	0,78	1395,9	3869,3	0,96	758,3	2102,0	0,86	1167,0	3234,6
F en PP [N]	0,97	51,3	142,2	0,97	35,4	98,3	0,97	37,2	103,2
RSImod[m/s]	0,76	0,0	0,0	0,90	0,0	0,1	0,68	0,0	0,1

Tabla 10. Continuación.

	Bilateral			Izquierda			Derecha		
	ICC	SEM	MDC CI 95%	ICC	SEM	MDC CI 95%	ICC	SEM	MDC CI 95%
Vel en PP [m/s]	0,94	0,1	0,2	0,91	0,1	0,3	0,50	0,2	0,5
Duración fase frenado [s]	0,31	0,1	0,2	0,79	0,1	0,2	0,79	0,1	0,2
RFD/BM fase frenado [N/s/kg]	0,47	11,3	31,3	0,75	9,5	26,3	0,62	14,4	39,8
RFD fase frenado [N/s]	0,69	728,8	2020,2	0,76	660,8	1831,6	0,61	1062,5	2945,0
Duración fase deceleración [s]	0,44	0,0	0,1	0,75	0,0	0,1	0,80	0,1	0,2
RFD/BM fase deceleración [N/s/kg]	0,48	25,0	69,4	0,90	7,5	20,9	0,74	15,1	41,8
RFD fase deceleración [N/s]	0,56	1914,3	5306,1	0,91	509,8	1413,1	0,73	1087,0	3013,0
Ecc MF fase frenado [N]	0,95	35,9	99,4	0,94	28,7	79,6	0,86	49,1	136,2
Ecc MF fase deceleración [N]	0,87	103,8	287,7	0,88	62,8	174,0	0,87	74,0	205,2
Ecc MF [N]	1,00	2,0	5,6	1,00	6,5	17,9	0,98	13,0	36,0
Ecc MP/BM [W/kg]	0,48	0,8	2,1	0,70	0,5	1,3	0,52	0,7	1,9
Ecc MP [W]	0,85	50,3	138,4	0,85	33,6	93,2	0,63	47,6	132,1
Ecc PF/BM [N/kg]	0,53	2,6	7,1	0,90	0,7	2,0	0,78	1,2	3,3
Ecc PF [N]	0,81	204,4	566,7	0,95	52,1	144,4	0,87	94,3	261,5
F a 0 Vel [N]	0,81	205,1	568,5	0,96	50,5	140,1	0,87	93,2	258,4

BM = Peso corporal; Conc MF = fuerza media concéntrica; Conc PF = fuerza pico concéntrica; Conc MP = potencia media concéntrica; FT = tiempo de vuelo; CT = tiempo de contracción; FT:CT = ratio entre FT y CT; JH = Altura de salto; PP = potencia pico concéntrica; Conc Dur = duración de la fase concéntrica; Conc P Vel = velocidad pico concéntrica; Conc RFD = RFD concéntrica; Conc RPD = RPD concéntrica; F en PP = Fuerza en el momento del pico de potencia; RSImod = Índice fuerza reactiva modificado; Vel en PP = Velocidad en el momento del pico de potencia; Ecc MF = fuerza media fase excéntrica; Ecc MP = potencia media fase excéntrica; Ecc PF = Fuerza pico fase excéntrica; F a 0 Vel = Fuerza producida en el momento de 0 velocidad.

Todos los saltos se realizaron en una plataforma de fuerza dual Force-Decks FD4000 (ForceDecks, Londres, Reino Unido), con una frecuencia de muestreo de 1.000Hz. Los datos recogidos de cada salto se introdujeron en el software propio de ForceDecks (ForceDecks, Londres, Reino Unido) para analizar cada salto y generar todas las variables dependientes. La fiabilidad de las variables dependientes se presenta en la Tabla 10. El criterio para determinar el inicio del movimiento fue en el momento que se produjo una disminución de 20N respecto del peso medido. El salto vertical se dividió en 8 fases clave: fase de pesaje, fase excéntrica, fase de frenado, fase de desaceleración, fase concéntrica, fase de vuelo y fase de aterrizaje. Para ser precisos en la fase de pesaje, se utilizó al menos un segundo de medición²⁰⁹. La fase excéntrica se determinó presentando una velocidad negativa del centro de masa (COM). La fase de frenado dura desde el instante en que se detecta la fuerza mínima hasta el final de la fase excéntrica. La fase de desaceleración comenzó en el momento en que se alcanzó la velocidad máxima negativa y terminó al final de la fase excéntrica (desplazamiento mínimo del COM). La fase concéntrica se inicia en el momento en que la velocidad se vuelve positiva y termina en el despegue. La fase de vuelo dura desde el despegue hasta el aterrizaje y la fase de aterrizaje dura desde el momento en que la fuerza se eleva por encima de 30N y vuelve al peso corporal (Figura 6). Las variables dependientes recogidas en esta investigación se establecieron en base a la clasificación de Heishman *et al.*²⁰⁷.

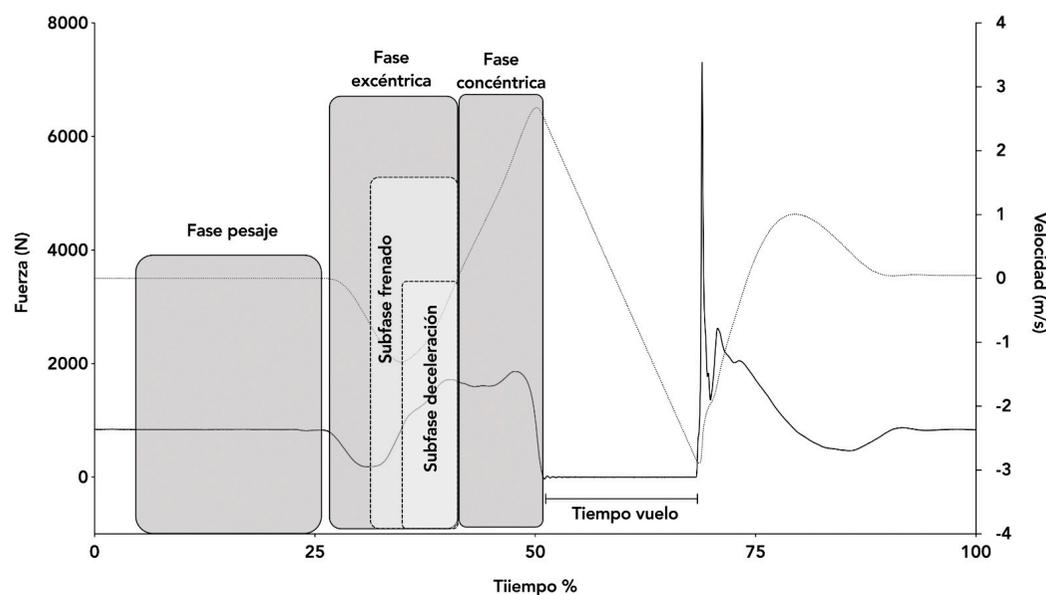


Figura 6. Curvas Fuerza-Tiempo, Velocidad-Tiempo y fases del CMJ de un participante representativo. // CMJ: *Countermovement jump*

5.2.2.2. Análisis estadístico

Las pruebas estadísticas se realizaron con IBM SPSS Statistics para Macintosh, versión 26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EE.UU.) y Microsoft Excel (2013; Microsoft Corporation, Albuquerque, NM). El tamaño de la muestra se estimó mediante un software gratuito (G*Power v3.1). La estimación del tamaño de la muestra reveló que 12 participantes eran suficientes para una prueba t de muestras pareadas de una cola con un tamaño del efecto de 1,2. Este tamaño del efecto se calculó con la media y la DS de la altura del CMJ de placebo y cafeína de descritas en investigaciones previas¹⁸⁵ y una correlación de Pearson de 0,97 (datos obtenidos durante la familiarización) asumiendo un 5% de errores de tipo I y tipo II. Para identificar los efectos de 3mg/kg de cafeína se realizó una prueba t de muestras pareadas. Si alguna variable dependiente no presentó distribución normal tras su comprobación con la prueba de Saphiro-Wilk, se utilizó la prueba de Wilcoxon. Se calculó el tamaño del efecto (ES) usando la *d* de Cohen utilizando una hoja de cálculo de Excel. Se calculó el coeficiente de correlación intraclase (ICC), el error estándar de la medida (SEM) y el cambio mínimo detectable (MDC) con un intervalo de confianza del 95% (CI 95%)²⁰¹. Los valores del ICC se analizaron en base a los siguientes criterios: fiabilidad pobre, <0,5; fiabilidad moderada, 0,5-0,75; fiabilidad buena, 0,75- 0,90; y fiabilidad excelente, >0,90²⁰³. Las magnitudes estimadas de la *d* de Cohen se clasificaron como sigue: ≤0,2 trivial, ≥0,2-0,6 pequeña, ≥0,6-1,2 moderada, ≥1,2-2,0 grande y ≥2 muy grande²⁰⁶. Los resultados se expresan como media ± desviación estándar (SD). El nivel de significación se fijó en $p < 0,05$.

5.2.3. RESULTADOS

La mayoría de las variables en ambos tipos de CMJ presentaron unos niveles de reproducibilidad aceptables (Tabla 10).

5.2.3.1. CMJ bilateral

Los efectos de las condiciones cafeína y placebo en todas las variables de CMJ bilateral se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Diferencias entre las condiciones Cafeína y Placebo en las variables del CMJ bilateral.

	Placebo		Cafeína		p	ES	CI 95%	
	Media	SD	Media	SD			Lim. Inf	Lim. Sup
Conc MF/BM [N/kg]	18,3	1,9	18,6	2,1	0,185	0,23	-0,27	0,72
Conc MF [N]	1251,4	176,2	1286,0	207,1	0,094	0,35	-0,17	0,85
Conc PF/BM [N/kg]	22,5	3,0	22,7	3,0	0,337	0,11	-0,39	0,60
Conc PF [N]	1551,1	279,1	1577,7	268,3	0,291	0,14	-0,35	0,63
Conc MP/BM [W/kg]	23,4	4,9	24,2	5,5	0,131	0,29	-0,21	0,79
Conc MP [W]	1617,3	395,3	1678,0	436,5	0,099	0,34	-0,17	0,84
FT [ms]	471,3	62,3	481,6	64,1	0,008	0,69	0,13	1,23
CT [ms]	888,5	145,8	843,8	157,7	0,123	-0,30	-0,80	0,20
FT:CT	0,55	0,12	0,60	0,15	0,029	0,52	-0,01	1,03
JH (Tiempo vuelo) [cm]	27,7	7,2	28,9	7,7	0,008	0,68	0,13	1,22
JH (Imp-Mom) [cm]	27,1	7,7	27,9	8,2	0,059	0,42	-0,10	0,92
PP/BM [W/kg]	42,4	8,9	43,2	9,2	0,162	0,25	-0,25	0,75
PP [W]	2928,0	676,9	3003,4	719,2	0,049	0,44	-0,08	0,95
Conc Dur [ms]	280,6	41,7	272,8	42,5	0,255	-0,17	-0,66	0,33
Impulso conc [Ns]	158,2	32,3	161,0	32,6	0,018	0,58	0,04	1,10
Conc P Vel [m/s]	2,42	0,30	2,44	0,32	0,103	0,33	-0,18	0,83
Conc RFD/BM [N/s/kg]	21,6	15,3	20,8	17,0	0,458	-0,03	-0,52	0,46
Conc RFD [N/s]	1477,1	1004,8	1462,1	1319,4	0,487	-0,01	-0,50	0,48
Conc RPD/BM [W/s/kg]	205,2	62,7	216,7	77,2	0,224	0,20	-0,30	0,69
Conc RPD [W/s]	9223,4	4015,9	9223,4	5039,1	0,176	0,24	-0,26	0,73
F en PP [N]	1325,8	167,8	1344,7	190,9	0,174	0,24	-0,26	0,74
RSImod[m/s]	0,32	0,10	0,36	0,13	0,011	0,64	0,09	1,17

Tabla 11. Continuación.

	Placebo		Cafeína		p	ES	CI 95%	
	Media	SD	Media	SD			Lim. Inf	Lim. Sup
Vel en PP [m/s]	2,19	0,27	2,21	0,28	0,133	0,29	-0,22	0,79
Duración fase frenado [s]	0,40	0,12	0,35	0,12	0,079	-0,37	-0,87	0,14
RFD/BM fase frenado [N/s/kg]	46,9	25,8	56,2	32,1	0,050	0,44	-0,08	0,95
RFD fase frenado [N/s]	3165,7	1524,0	3837,6	1964,3	0,057	0,42	-0,10	0,93
Duración fase deceleración [s]	0,21	0,07	0,19	0,07	0,113	-0,32	-0,81	0,19
RFD/BM fase deceleración [N/s/kg]	68,0	37,6	76,2	43,6	0,170	0,25	-0,26	0,74
RFD fase deceleración [N/s]	4615,3	2469,2	5204,3	2654,8	0,181	0,24	-0,27	0,73
Ecc MF fase frenado [N]	773,6	104,1	804,2	106,5	0,045	0,46	-0,07	0,96
Ecc MF fase deceleración [N]	1048,4	184,6	1083,1	182,3	0,212	0,21	-0,29	0,70
Ecc MF [N]	679,1	88,7	682,4	87,7	0,110	0,32	-0,19	0,82
Ecc MP/BM [W/kg]	4,91	0,82	4,91	0,99	0,494	0,00	-0,49	0,49
Ecc MP [W]	340,7	80,2	339,3	71,9	0,479	-0,01	-0,50	0,48
Ecc PF/BM [N/kg]	20,9	3,3	21,5	3,6	0,252	0,17	-0,33	0,66
Ecc PF [N]	1448,8	309,2	1489,8	272,4	0,285	0,15	-0,35	0,64
F a 0 Vel [N]	1447,7	310,1	1486,5	270,8	0,294	0,14	-0,36	0,63

BM = Peso corporal; Conc MF = fuerza media concéntrica; Conc PF = fuerza pico concéntrica; Conc MP = potencia media concéntrica; FT = tiempo de vuelo; CT = tiempo de contracción; FT:CT = ratio entre FT y CT; JH = Altura de salto; PP = potencia pico concéntrica; Conc Dur = duración de la fase concéntrica ; Conc P Vel = velocidad pico concéntrica; Conc RFD = RFD concéntrica; Conc RPD = RPD concéntrica; F en PP = Fuerza en el momento del pico de potencia; RSImod = índice fuerza reactiva modificado; Vel en PP = Velocidad en el momento del pico de potencia; Ecc MF = fuerza media fase excéntrica; Ecc MP = potencia media fase excéntrica; Ecc PF = Fuerza pico fase excéntrica; F a 0 Vel = Fuerza producida en el momento de 0 velocidad.

El consumo de cafeína aumentó significativamente la altura del salto utilizando el método del tiempo de vuelo ($p=0,008$; diferencia de medias=1,23cm [0,27 a 2,18]; $\Delta\%=4,4$ [0,9 a 8,0]). El tiempo de vuelo ($p=0,008$; diferencia de medias=20,25ms [2,30 a 18,20]; $\Delta\%=2,2$ [0,4 a 4,0]), el FT:CT ($p=0,029$; diferencia de medias=0,05 [0,00 a 0,11]; $\Delta\%=8,9$ [-1,4 a 20,2]), el impulso concéntrico ($p=0,018$; diferencia de medias=2,83Ns [0,22 a 5,45]; $\Delta\%=1,8$ [0,2 a 3,5]), la potencia máxima absoluta ($p=0,049$; diferencia de medias=75,47W [-15,75 a 166,69]; $\Delta\%=2,5$ [-0,5 a 5,5]) y el RSI modificado ($p=0,011$; diferencia de medias=0,04ms [0,01 a 0,08]; $\Delta\%=11,5$ [0,9 a 23,3]) también fueron mayores en la condición de cafeína. Además, la altura de salto calculada mediante el método de impulso-momento tendió a ser mayor tras el consumo de cafeína ($p=0,059$; diferencia de medias=0,8cm [-0,23 a 1,83]; $\Delta\%=2,7$ [-0,9 a 6,4]). La fuerza excéntrica media producida en la fase de frenado fue mayor en la condición de cafeína ($p=0,045$; diferencia de medias=30,58N [-5,23 a 66,40]; $\Delta\%=4,0$ [-0,3 a 8,4]). A pesar de no ser significativas ($p>0,05$), la mayoría de las variables cinéticas y cinemáticas de las fases concéntricas y excéntricas presentaron ES pequeños a moderados tras la ingesta de cafeína.

5.2.3.2. CMJ unilateral

Los efectos de la cafeína en todas las métricas de los CMJ unilaterales se muestran en la Tabla 12. Como se observa en la figura 7 (paneles D-F), el RSI mod fue mayor en ambas piernas después del consumo de cafeína (pierna izquierda: $p=0,034$; diferencia de medias=0,012ms [-0,00 a 0,03]; $\Delta\%=7,6$ [-0,3 a 16,2]; pierna derecha: $p=0,004$; diferencia de medias=0,017ms [-0,00 a 0,04]; $\Delta\%=11,8$ [0,0 a 24,9]). El tiempo de vuelo ($p=0,044$; diferencia de medias=7,5 ms [-1,26 a 16,26]; $\Delta\%=1,91$ [-0,7 a 4,6]) y la altura del salto (método del tiempo de vuelo) ($p=0,039$; diferencia de medias=0,71cm [-0,09 a 1,52]; $\Delta\%=3,7$ [-1,6 a 9,3]) fueron mayores para la pierna izquierda en la condición de cafeína. Además, la FT:CT también fue mayor en la condición de cafeína sólo en el CMJ de la pierna derecha ($p=0,040$; diferencia de medias=0,02 [-0,01 a 0,05]; $\Delta\%=9,7$ [-0,3 a 20,7]). No se observaron diferencias entre el placebo y la cafeína en ninguna otra variable cinética o cinemática de los saltos unilaterales ($p>0,05$).

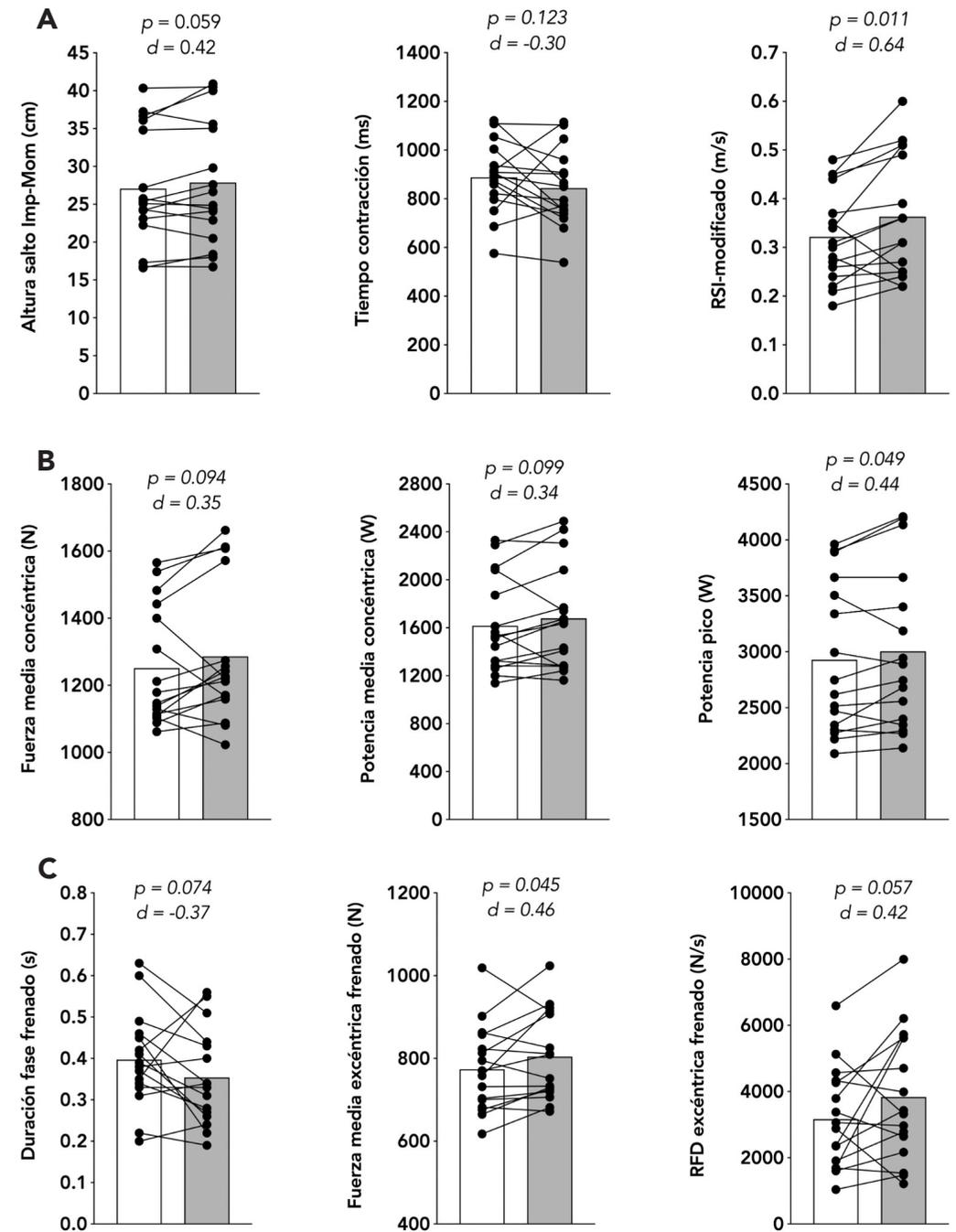


Figura 7. Media, SD, ES y respuestas individuales entre las condiciones de placebo y cafeína en el salto bilateral (a-c) y media, SD y ES entre las condiciones de placebo y cafeína en los saltos unilaterales en sus diferentes fases (d-f). // SD: Standard deviation; ES: Effect size

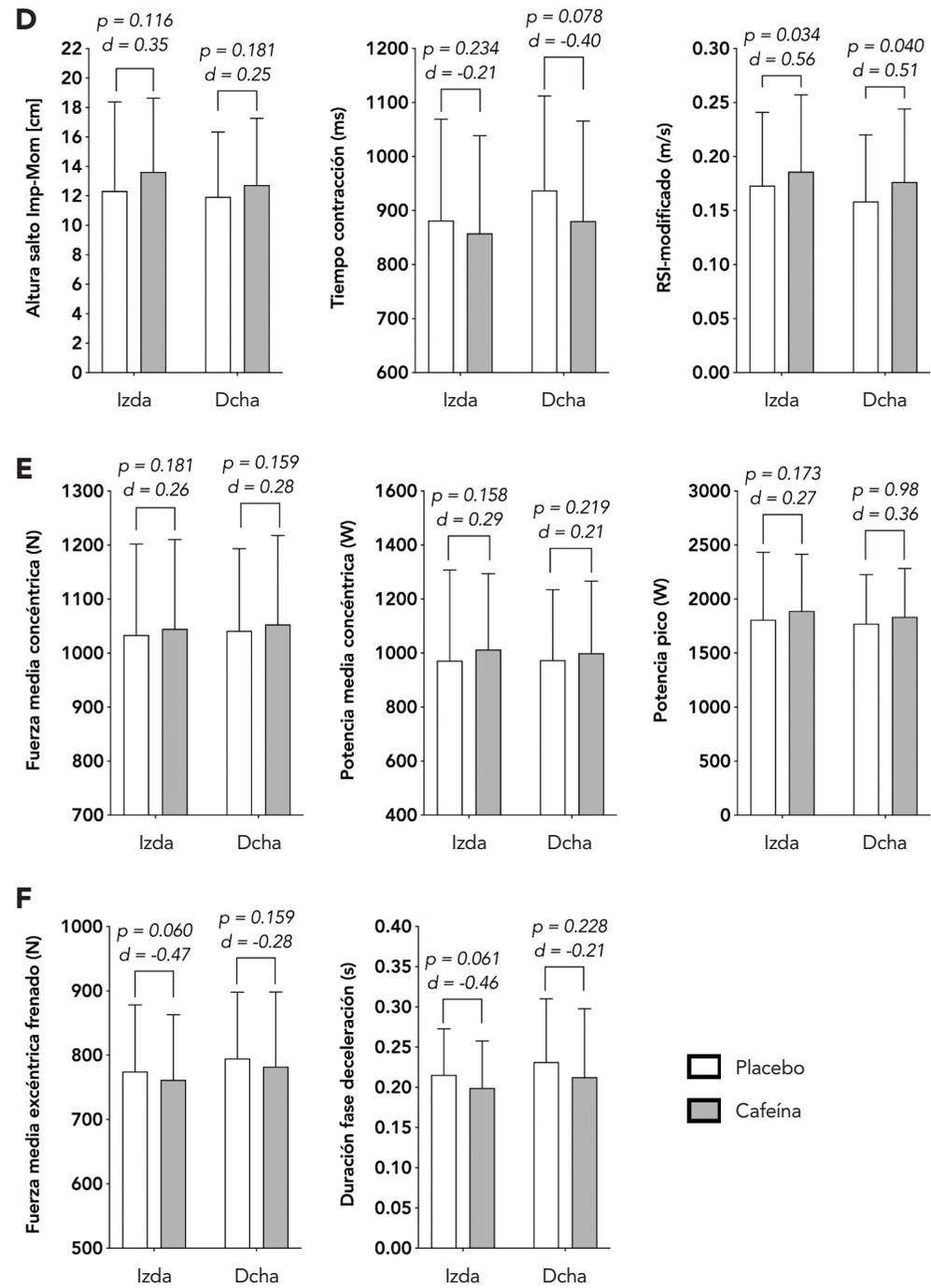


Figura 7. Continuación.

Tabla 12. Diferencias entre las condiciones Cafeína y Placebo en las variables del CMJ unilateral.

	IZQUIERDA						DERECHA						
	Placebo		Cafeína		p	ES	Placebo		Cafeína		p	ES	
	Media	SD	Media	SD			Media	SD	Media	SD			
Conc MF/BM [N/kg]	14,77	1,43	14,94	1,46	0,176	0,27	14,69	1,51	14,82	1,4	0,213	0,22	Conc MF/BM [N/kg]
Conc MF [N]	1033,8	168,1	1045,3	165,1	0,181	0,26	1041,6	151,8	1053,4	164,6	0,159	0,28	Conc MF [N]
Conc PF/BM [N/kg]	17,91	2,16	18,34	2,31	0,069	0,44	17,61	2,35	17,94	1,91	0,251	0,18	Conc PF/BM [N/kg]
Conc PF [N]	1266,2	222,2	1289,7	232,5	0,087	0,40	1257,4	189,1	1284,9	211,5	0,221	0,21	Conc PF [N]
Conc MP/BM [W/kg]	13,66	3,82	14,34	3,14	0,125	0,34	13,54	2,92	13,93	3,16	0,199	0,23	Conc MP/BM [W/kg]
Conc MP [W]	972,2	335,3	1013	281,4	0,158	0,29	973,8	260,7	999,5	266,9	0,219	0,21	Conc MP [W]
FT [ms]	341,5	53,82	349	61,24	0,044	0,52	335,79	55,52	340,93	54,56	0,182	0,25	FT [ms]
CT [ms]	881,73	187,39	857,89	180,85	0,234	-0,21	937,39	174,78	880,46	185,12	0,078	-0,40	CT [ms]
FT:CT	0,40	0,10	0,42	0,11	0,094	0,39	0,37	0,10	0,41	0,10	0,040	0,51	FT:CT
JH (Tiempo vuelo) [cm]	14,65	4,54	15,37	5,33	0,039	0,54	14,21	4,61	14,6	4,73	0,211	0,22	JH (Tiempo vuelo) [cm]
JH (Imp-Mom) [cm]	12,34	6,04	13,64	4,98	0,116	0,35	11,94	4,39	12,74	4,52	0,181	0,25	JH (Imp-Mom) [cm]
PP/BM [W/kg]	25,37	6,95	26,76	5,86	0,131	0,33	24,63	4,71	25,65	5,21	0,098	0,36	PP/BM [W/kg]
PP [W]	1809,1	624,9	1889,7	526	0,173	0,27	1773,3	453,2	1835,9	446,7	0,111	0,34	PP [W]
Conc Dur [ms]	320,81	54,36	327,39	60,93	0,310	0,14	326,89	51,69	325,71	60,86	0,470	-0,02	Conc Dur [ms]
Impulso conc [Ns]	107,94	34,76	113,66	29,9	0,098	0,38	108,51	28,67	111,09	26,45	0,243	0,19	Impulso conc [Ns]
Conc P Vel [m/s]	1,72	0,34	1,80	0,27	0,104	0,37	1,71	0,24	1,75	0,26	0,220	0,21	Conc P Vel [m/s]
Conc RFD/BM [N/s/kg]	14,77	11,02	15,96	15,00	0,330	0,12	10,8	3,44	13,9	9,47	0,136	0,31	Conc RFD/BM [N/s/kg]
Conc RFD [N/s]	1017,6	662,3	1086,2	973,5	0,368	0,10	782,1	286,9	977,2	654	0,159	0,28	Conc RFD [N/s]
Conc RPD/BM [W/s/kg]	114,36	44,99	119,39	44,57	0,255	0,19	110,85	47,72	116,51	41,71	0,268	0,17	Conc RPD/BM [W/s/kg]
Conc RPD [W/s]	8055	3214,4	8346,8	3013,3	0,288	0,16	7821,8	3028	8302	2969	0,227	0,21	Conc RPD [W/s]
F en PP [N]	1147,8	190,6	1157,8	182,6	0,239	0,20	1132,4	161,2	1156,3	167	0,082	0,39	F en PP [N]
RSImod[m/s]	0,17	0,07	0,19	0,07	0,034	0,56	0,16	0,06	0,18	0,07	0,040	0,51	RSImod[m/s]
Vel en PP [m/s]	1,55	0,30	1,61	0,24	0,135	0,32	1,55	0,21	1,58	0,23	0,308	0,14	Vel en PP [m/s]
Duración fase frenado [s]	0,37	0,11	0,36	0,11	0,396	-0,07	0,38	0,11	0,36	0,13	0,297	-0,15	Duración fase frenado [s]
RFD/BM fase frenado [N/s/kg]	36,85	25,57	33,73	20,48	0,217	-0,22	34,79	25,62	34,04	20,31	0,442	-0,04	RFD/BM fase frenado [N/s/kg]

Tabla 12. Continuación.

	IZQUIERDA						DERECHA						
	Placebo		Cafeína		p	ES	Placebo		Cafeína		p	ES	
	Media	SD	Media	SD			Media	SD	Media	SD			
RFD fase frenado [N/s]	2408	1255,4	2346,3	1299,9	0,400	-0,07	2419,7	1479,7	2430,7	1417,1	0,488	0,01	RFD fase frenado [N/s]
Duración fase deceleración [s]	0,21	0,06	0,20	0,06	0,061	-0,46	0,23	0,08	0,21	0,09	0,228	-0,21	Duración fase deceleración [s]
RFD/BM fase deceleración [N/s/kg]	36,08	23,14	37,69	25,08	0,329	0,13	37,36	32,62	38,68	26,63	0,421	0,05	RFD/BM fase deceleración [N/s/kg]
RFD fase deceleración [N/s]	2505,6	1529,3	2626,7	1612,9	0,314	0,14	2574,1	1954,3	2764,5	1821,3	0,340	0,11	RFD fase deceleración [N/s]
Ecc MF fase frenado [N]	774,62	103,64	761,64	101,46	0,060	-0,47	795,02	103,05	782,24	116,14	0,159	-0,28	Ecc MF fase frenado [N]
Ecc MF fase deceleración [N]	955,07	142,82	948,3	170,99	0,346	-0,11	921,43	102,05	930,9	181,65	0,392	0,08	Ecc MF fase deceleración [N]
Ecc MF [N]	693,73	86,3	689,5	86,54	0,076	-0,42	704,86	94,05	703,46	94,71	0,324	-0,13	Ecc MF [N]
Ecc MP/BM [W/kg]	3,70	0,51	3,54	0,85	0,203	-0,24	3,66	0,64	3,38	0,83	0,165	-0,27	Ecc MP/BM [W/kg]
Ecc MP [W]	260,74	60,99	250,77	87,97	0,245	-0,20	259,25	52,79	243,64	78,5	0,204	-0,23	Ecc MP [W]
Ecc PF/BM [N/kg]	16,27	2,2	16,18	2,25	0,409	-0,07	16,46	2,76	16,23	2,36	0,352	-0,10	Ecc PF/BM [N/kg]
Ecc PF [N]	1149	214	1139	228	0,357	-0,10	1175,1	206,6	1167,9	251,7	0,432	0,432	Ecc PF [N]
F a 0 Vel [N]	1145	213	1134	228	0,331	-0,12	1171,5	210,2	1164,4	250,5	0,432	-0,05	F a 0 Vel [N]

BM = Peso corporal; Conc MF = fuerza media concéntrica; Conc PF = fuerza pico concéntrica;
 Conc MP = potencia media concéntrica; FT = tiempo de vuelo; CT = tiempo de contracción; FT:CT = ratio
 entre FT y CT; JH = Altura de salto; PP = potencia pico concéntrica; Conc Dur = duración de la fase concéntrica;
 Conc P Vel = velocidad pico concéntrica; Conc RFD = RFD concéntrica; Conc RPD = RPD concéntrica;

F en PP = Fuerza en el momento del pico de potencia; RSI mod = Índice fuerza reactiva modificado;
 Vel en PP = Velocidad en el momento del pico de potencia; Ecc MF = fuerza media fase excéntrica;
 Ecc MP = potencia media fase excéntrica; Ecc PF = Fuerza pico fase excéntrica; F a 0 Vel = Fuerza producida
 en el momento de 0 velocidad.

5.3. ESTUDIO 3. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA RECUPERACIÓN Y RENDIMIENTO DEL SALTO VERTICAL TRAS UN EJERCICIO PRIMING SÓLO O CON INGESTA SIMULTÁNEA DE CAFEÍNA

5.3.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Identificar la evolución a lo largo mismo día de la fatiga, rendimiento, cinética, cinemática, estrategia del salto vertical y percepción subjetiva del estrés y la recuperación tras un ejercicio priming aislado o en combinación con la ingesta de 3mg/kg de cafeína.

5.3.2. METODOLOGÍA

La figura 8 ofrece una visión general del diseño experimental. Para identificar los efectos sobre la fatiga y el rendimiento después de un ejercicio priming en solitario o en combinación con ingesta de cafeína para el momento de una hipotética competición, se evaluaron las métricas de la curva fuerza-, velocidad-, desplazamiento-tiempo del CMJ y el estado estrés y recuperación percibidos en diferentes momentos del mismo día. Los participantes visitaron el laboratorio en cinco ocasiones distintas para realizar dos sesiones de familiarización y tres condiciones experimentales (Priming, PrimingCaf y Control). Para mapear las respuestas neuromusculares y de percepción subjetiva a lo largo del día después de los ejercicios priming, se evaluó el rendimiento de salto vertical inmediatamente después del entrenamiento y a las dos, cuatro y seis horas. En todas las condiciones se permitió a los participantes desayunar, pero no se les permitió beber alcohol o cafeína. Tampoco se les permitió realizar ninguna actividad física extenuante entre las visitas al laboratorio. Los participantes podían salir del laboratorio y comer o beber, pero debían repetir la misma ingesta nutricional y de líquidos en las tres condiciones. Se les preguntaba por su ingesta de nutrientes, así como por su actividad física cada vez que acudían al laboratorio para asegurarse de que cumplían las instrucciones. Los ensayos experimentales se separaron 72 horas para permitir la recuperación completa y el lavado de la cafeína¹⁶⁸.

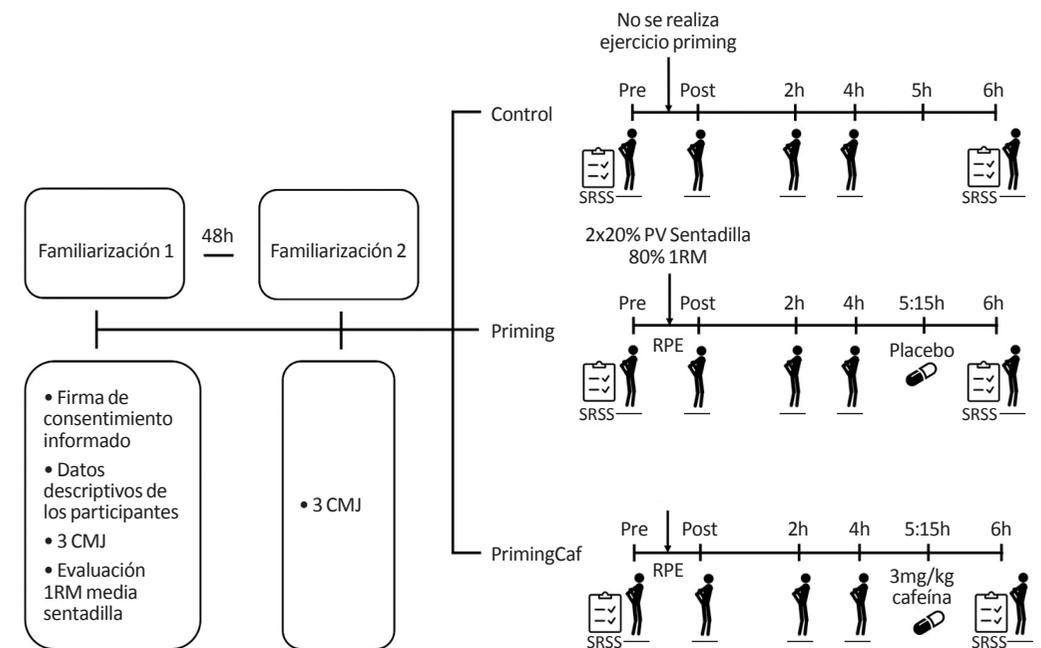


Figura 8. Diagrama de flujo del protocolo experimental del estudio 3.

5.3.2.1. Participantes

Se reclutaron once participantes, nueve hombres y dos mujeres, para este estudio (Media \pm SD: masa corporal (BM): $75,3 \pm 8,9$ kg; altura corporal: $1,77 \pm 0,06$ m; índice de masa corporal (IMC): $24,0 \pm 3,5$; edad: $25,0 \pm 4,7$ años; experiencia en el entrenamiento de resistencia: $49,5 \pm 29,6$ meses; RM media sentadilla: $124,55 \pm 22,07$ kg; RM media sentadilla relativo a la masa corporal: $1,7 \pm 0,1$ kg/BM). Los participantes fueron informados de los procedimientos experimentales y de los posibles riesgos y beneficios asociados a su participación. También dieron su consentimiento informado por escrito para participar en esta investigación durante su primera asistencia al laboratorio. El estudio y los procedimientos de consentimiento informado fueron aprobados por el Comité de Ética de la Investigación de la Universidad Camilo José Cela, de acuerdo con la última versión de la Declaración de Helsinki.

5.3.2.2. Diseño experimental

Durante la primera visita, los participantes firmaron el formulario de consentimiento informado y realizaron un calentamiento estandarizado, que consistió en cinco minutos de bicicleta en un cicloergómetro con un índice de esfuerzo percibido (RPE) de 5/10, seguido de tres minutos de movilidad de cadera y tobillo y 10 sentadillas con el propio peso corporal. Esta rutina de calentamiento se utilizó durante todo el estudio antes

de cada evaluación. Después del calentamiento, los participantes realizaron tres CMJ en una plataforma de fuerzas con 30 segundos de descanso entre los intentos. Se instruyó a los participantes para que saltaran tan alto como fuera posible, y se les proporcionó el mismo estímulo verbal. Los participantes volvieron al laboratorio después de 48 horas para realizar otros tres CMJ para calcular la fiabilidad de las variables dependientes derivadas los CMJ.

Se implementaron tres condiciones diferentes a lo largo del estudio, realizándose en orden aleatorio: una condición de control (CON), en la que no se realizó ningún ejercicio ni se ingirió cafeína, y dos condiciones de ejercicio de priming. Para evitar cualquier efecto de los ritmos circadianos en las variables analizadas, los participantes fueron programados a la misma hora en las tres condiciones experimentales²¹⁰. Una de las condiciones priming consistió en realizar el ejercicio sin ninguna ingesta posterior de cafeína (Priming). En la otra condición, el ejercicio priming se acompañó de una ingesta de 3mg/kg de cafeína a las 5 horas y 15 minutos de finalizar el ejercicio, 45 minutos antes de la última evaluación (PrimingCaf). Los ejercicios priming consistieron en dos series con el 80%RM, con una pérdida de velocidad de alrededor del 20% respecto a la repetición más rápida de media sentadilla²¹¹. Este umbral de pérdida de velocidad se seleccionó para limitar los marcadores bioquímicos de fatiga²⁵. La descripción de los ejercicios priming de ambas condiciones se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Características de los ejercicios priming del estudio 3

	Priming		PrimingCaf		p
	Media	SD	Media	SD	
Repeticiones Serie 1	4,75	1,29	4,58	0,90	0,319
Repeticiones Serie 2	4,50	1,00	4,50	0,91	0,358
Repetición más rápida serie 1 (m/s)	0,54	0,09	0,53	0,09	0,353
Repetición más rápida serie 2 (m/s)	0,55	0,09	0,55	0,09	0,161
Repetición más lenta serie 1 (m/s)	0,43	0,07	0,43	0,08	0,500
Repetición más lenta serie 2 (m/s)	0,44	0,09	0,43	0,08	0,370
Pérdida velocidad serie 1 (%)	21,08	2,91	19,09	4,74	0,252
Pérdida velocidad serie 2 (%)	20,01	5,15	20,82	5,83	0,349
RPE	7,58	0,99	8,04	0,62	0,002

La RPE se midió con la escala CR-10 de Borg¹⁹⁷ inmediatamente después de los ejercicios. 45 minutos antes de la última recogida de datos, 5h y 15 minutos después del ejercicio priming, los participantes ingirieron una cápsula no identificable con cafeína anhidra (condición PrimingCaf: 3mg/kg BM, Bulk Powders 100% pureza, Colchester, Reino Unido) o una sustancia inerte (condición Priming; Celulosa, Guinama, Valencia, España). Esta ventana temporal se seleccionó para maximizar la concentración de cafeína en sangre¹⁶⁸. Se seleccionó esta dosis ya que ha demostrado ser una dosis eficaz para aumentar el rendimiento mecánico del tren inferior sin efectos secundarios²⁰⁸. Para garantizar el cegado, las cápsulas fueron preparadas por un investigador externo. Se asignó un código alfanumérico a cada ensayo para cegar la condición del ensayo a los participantes e investigadores. Esta codificación no se reveló hasta que se analizaron los datos. Dos de los 11 participantes identificaron el día en que habían ingerido cafeína. No se informó de ningún acontecimiento adverso derivado de la ingesta de cafeína.

5.3.2.3. Variables del CMJ y de percepción subjetiva del estrés y recuperación.

Para identificar los efectos producidos por los ejercicios priming y sus evoluciones a lo largo del día sobre el rendimiento neuromuscular de las extremidades inferiores y la fatiga, cada participante realizó tres CMJ en los siguientes puntos temporales a lo largo del día: antes del ejercicio, inmediatamente después y a las 2h, 4h y 6h. Cada CMJ se realizó en una plataforma de fuerza dual Force-Decks FD4000 (ForceDecks, Londres, Reino Unido), con una frecuencia de muestreo de 1.000Hz. Los datos recogidos de cada salto se introdujeron en el software ForceDecks (ForceDecks, Londres, Reino Unido) para analizar cada salto y generar todas las variables dependientes utilizando un filtro de Butterworth de cuarto orden con una frecuencia de corte de 50Hz. La velocidad del centro de masas (COM) se calculó dividiendo la fuerza vertical (menos el peso corporal) por la masa corporal e integrando el producto mediante la regla del trapecio. La potencia instantánea se determinó multiplicando la fuerza vertical por la velocidad COM. El desplazamiento del COM se determinó por la doble integración de los datos de la fuerza vertical²¹².

El CMJ se consideró válido si se realizó con los brazos en la cintura durante todo el salto, si no se observó ninguna flexión de cadera o rodilla durante la fase de vuelo y si los participantes permanecieron completamente quietos durante al menos un segundo durante la fase de pesaje²⁰⁹. El inicio del movimiento se determinó cuando se produjo una caída de 20N del peso medido²⁰⁷. La fase excéntrica se determinó por la presencia de velocidad negativa del COM. La fase concéntrica se determinó cuando la velocidad se volvió positiva, finalizando esta fase en el momento del despegue.

Las variables de ejecución del salto se definieron de la siguiente manera: altura del salto (calculada a partir del método impulso-momento), velocidad pico concéntrica (velocidad máxima de la fase concéntrica), momento de despegue (BM x velocidad de despegue²¹³), potencia media concéntrica/BM (valor medio de la potencia instantánea

durante la fase concéntrica/BM) e índice de fuerza reactiva modificado (RSImod = altura del salto/tiempo de movimiento). Se seleccionaron la altura de salto y el RSImod como resultados principales del rendimiento debido a su relación con el sprint²¹⁴, a las diferentes métricas de fuerza-tiempo²¹⁵, a su capacidad para discriminar entre niveles de jugadores²¹⁶ y géneros²¹⁵ y a su reproducibilidad fiable²¹⁵. Además, se evaluó la fuerza con cero velocidad (fuerza producida cuando la velocidad era de 0 m/s), la fuerza media concéntrica/BM (valor medio de la fuerza instantánea durante la fase concéntrica/BM), el impulso concéntrico (calculado como el área bajo la curva fuerza-tiempo neta menos el peso corporal utilizando la regla del trapecio durante la fase concéntrica) y el impulso concéntrico a 50ms (área bajo la curva fuerza-tiempo neta menos el peso corporal utilizando la regla del trapecio durante los primeros 50ms de la fase concéntrica). Por último, se seleccionaron como variables de estrategia de salto el peso del atleta en bipedestación (kg), la duración concéntrica, la duración excéntrica, el tiempo de contracción (tiempo desde el inicio del movimiento hasta el despegue) y la profundidad del contramovimiento. La profundidad del contramovimiento se definió como el valor máximo alcanzado durante la fase de contramovimiento y fue autoseleccionado por los participantes^{78,217}. Los coeficientes de correlación intraclase y SWC de todas las métricas de ejecución de salto de fuerza-tiempo se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Reproducibilidad de las variables dependientes del estudio 3.

	ICC	CI 95%		SWC
		Inferior	Superior	
Altura de salto [cm]	0,99	0,97	1,00	1,48
Velocidad pico concéntrica[m/s]	0,99	0,98	1,00	0,06
Momento de salto [Kg m/s]	1,00	1,00	1,00	9,45
Potencia media concéntrica / BM [W/kg]	0,99	0,95	1,00	0,68
RSImod [m/s]	0,98	0,92	0,99	0,02
Fuerza a 0 velocidad [N]	0,96	0,85	0,99	57,04
Fuerza media concéntrica+/BM [N/Kg]	0,97	0,87	0,99	0,19
Impulso concéntrico [Ns]	1,00	0,99	1,00	9,17
Impulso concéntrico 50ms[Ns]	0,92	0,73	0,98	1,92
Peso del participante [kg]	1,00	1,00	1,00	2,95
Duración fase concéntrica[ms]	0,94	0,77	0,98	6,19
Duración fase excéntrica [ms]	0,89	0,61	0,97	17,61
Tiempo de contracción [ms]	0,87	0,58	0,97	21,42
Profundidad del contramovimiento [cm]	0,96	0,86	0,99	1,38

La percepción subjetiva del estrés y la recuperación se evaluó mediante una adaptación del *Short Recovery and Stress Scale* (SRSS) en la que la capacidad de rendimiento físico, la capacidad de rendimiento mental, el equilibrio de la activación y el estrés general se evaluaron mediante una escala de siete puntos de 0 (nada) a 6 (extremo). Esta prueba psicométrica ha sido validada recientemente, mostrando una fiabilidad adecuada¹⁴⁹.

5.3.2.4. Análisis estadístico

Las pruebas estadísticas se realizaron con IBM SPSS Statistics para Macintosh, versión 26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EE.UU.). La estimación del tamaño de la muestra se calculó con el software G*Power v3.1. Esta estimación reveló que seis participantes eran suficientes para un ANOVA de medidas repetidas intrasujeto, asumiendo un eta-cuadrado parcial (η^2) de 0,533 para el CMJ, como se informó en datos anteriores de nuestro laboratorio²¹¹ con una correlación de Pearson de medidas repetidas de 0,98 y valores de 5% y 1% para los errores tipo I y tipo II, respectivamente. Los datos reportados durante la familiarización se distribuyeron con normalidad según lo determinado por la prueba de Shapiro-Wilk. Los supuestos de varianza y esfericidad se comprobaron con las pruebas de Levene y Mauchly. El coeficiente de correlación intraclase (ICC) se calculó para las variables del CMJ con los datos obtenidos durante las sesiones de familiarización como medida de reproducibilidad²⁰². Los valores del ICC se analizaron de la siguiente forma: fiabilidad pobre, <0,5; fiabilidad moderada, 0,5-0,75; fiabilidad buena, 0,75-0,90; y fiabilidad excelente, >0,90203. El SWC se calculó como $0,2 \times SD$ entre sujetos²¹⁸. Los participantes que respondieron positivamente, negativamente o no respondieron al ejercicio de priming fueron identificados si el cambio absoluto fue menor o mayor que el SWC de cada variable. Se realizó un ANOVA de dos vías de medidas repetidas para identificar los efectos de las intervenciones priming y la ingesta de cafeína. Se calcularon los valores de eta-cuadrado parcial (η_p^2) (clasificados de la siguiente manera: pequeño: 0,01, medio: 0,06 y grande: 0,14) y se utilizó la prueba *post-hoc* de Bonferroni para comprobar las comparaciones por pares. Además, se calcularon las magnitudes estimadas (*d* de Cohen [IC 90%]) con respecto a los valores preejercicio. Estas magnitudes estimadas se clasificaron en unidades estandarizadas de la siguiente manera: $\leq 0,2$ trivial, $\geq 0,2-0,6$ pequeño, $\geq 0,6-1,2$ moderado, $\geq 1,2-2,0$ grande y ≥ 2 muy grande²⁰⁶. Los resultados se expresan como media \pm desviación estándar (SD). El nivel de significación se fijó en $p < 0,05$.

5.3.3. RESULTADOS

5.3.3.1. CMJ

Hubo un efecto principal del momento de la evaluación en todos los resultados y variables cinéticas ($p < 0,043$; $\eta_p^2 = 0,214-0,502$) mientras que se observó una interacción (condición*momento) para la altura del CMJ ($F_{8,80} = 3,64$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,267$), la velocidad pico concéntrica ($F_{8,80} = 3,77$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,274$), el momentum en el despegue ($F_{4,42} = 3,76$; $p = 0,009$; $\eta_p^2 = 0,273$), la potencia media concéntrica ($F_{8,80} = 4,54$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,312$) y el impulso concéntrico ($F_{4,42} = 4,17$; $p = 0,006$; $\eta_p^2 = 0,294$).

Inmediatamente después de los ejercicios priming existieron reducciones del 5,4% ($p = 0,011$; $d = -0,19$) y del 6,2% ($p = 0,020$; $d = -0,32$) en la altura de salto, del 2,4% ($p = 0,011$; $d = -0,18$) y del 2,6% ($p = 0,015$; $d = -0,29$) en la velocidad pico concéntrica y del 5,63% ($p = 0,022$; $d = -0,23$) y 5,4% ($p = 0,045$; $d = -0,32$) en la potencia media concéntrica en las condiciones Priming y PrimingCaf, respectivamente (Figura 9). Estas reducciones también presentaron diferencias significativas en comparación con la condición de control en el momento post ($p < 0,046$).

En la condición Priming, las variables del salto se recuperaron por completo a las 2h tras la finalización del ejercicio, presentando valores similares al momento pre en la altura de salto ($p < 0,99$; $d = 0,00$), velocidad pico concéntrica ($p < 0,99$; $d = -0,02$), momentum ($p < 0,99$; $d = -0,02$), potencia media concéntrica ($p = 0,778$; $d = -0,09$) y RSI-mod ($p < 0,99$; $d = -0,06$). En la condición PrimingCaf, el patrón de recuperación fue similar (Figura 9). Todas las variables presentaron unos valores similares a la condición CON tras 2h de recuperación ($p > 0,05$; $d = -0,09$ a $0,10$) (Tabla 15).

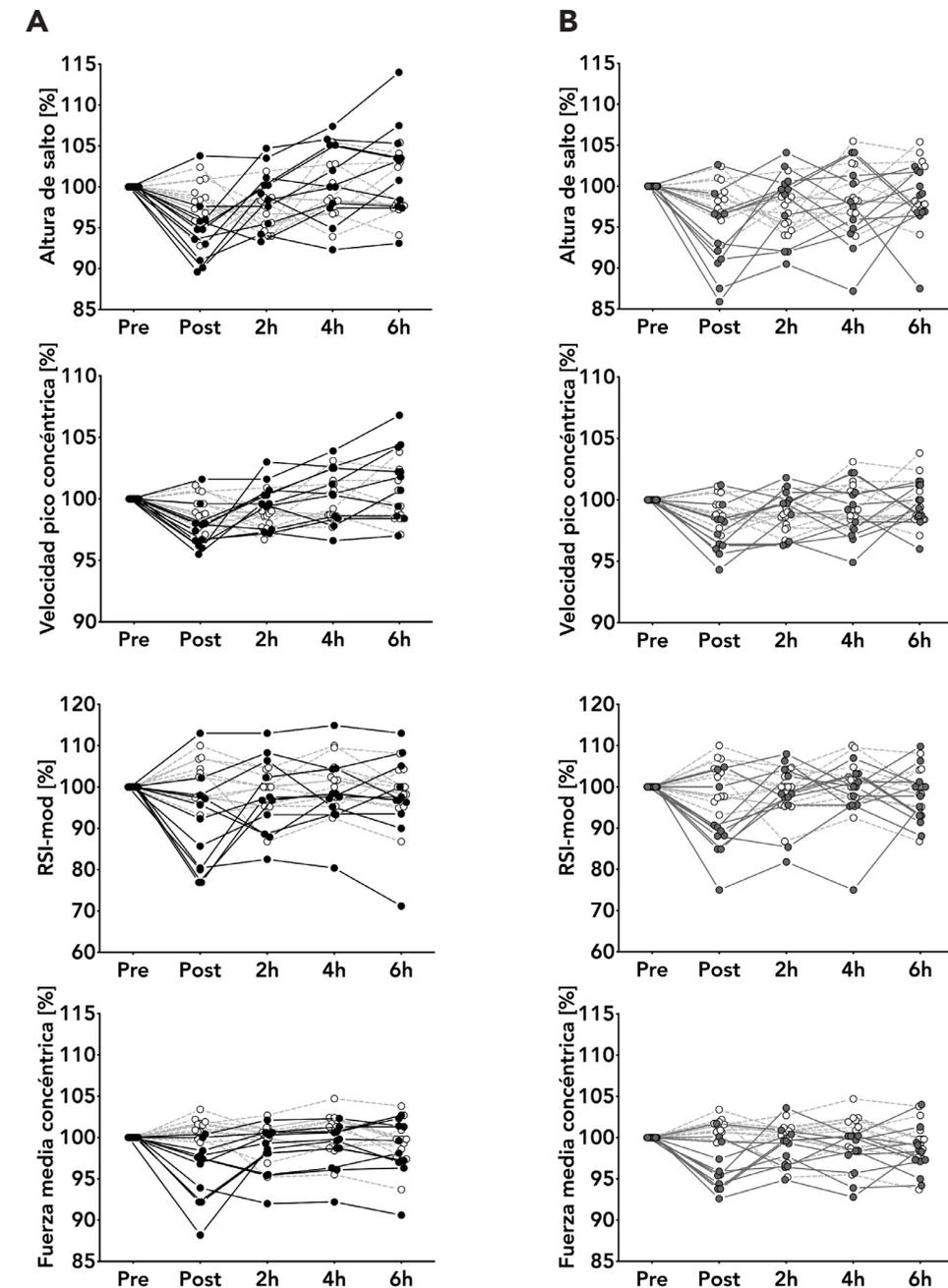


Figura 9. Cambios individuales en las variables principales del CMJ tras las diferentes condiciones (Priming, PrimingCaf y Control) en los momentos temporales evaluados. El panel A) muestra los cambios en las condiciones Priming (círculos negros) y Control (círculos blancos), mientras que el panel B) muestra las condiciones PrimingCaf (círculos grises) y Control (círculos blancos).
// CMJ: Countermovement jump.

Tabla 15. Cambio porcentual en las variables del salto vertical a lo largo del día tras las condiciones Priming, PrimingCaf y Control.

	Priming						PrimingCaf					Control					
	%	95%CI	<i>p vs pre</i>	<i>d vs Pre</i>	<i>p vs Control*</i>		%	95%CI	<i>p vs pre</i>	<i>d vs Pre</i>	<i>p vs Control*</i>	%	95%CI	<i>p vs pre</i>	<i>d vs Pre</i>		
Altura de salto [cm]																	
Pre	100						100					100					
Post	94,55	91,88	97,23	0,011	-0,19	0,046	93,75	90,38	97,11	0,02	-0,32	0,039	98,31	96,51	100,11	0,629	-0,06
2h	98,89	96,47	101,32	>0,99	0,00	0,537	97,87	94,83	100,91	>0,99	-0,16	>0,99	96,88	95,24	98,52	0,017	-0,08
4h	100,74	97,49	103,99	>0,99	0,01	>0,99	97,26	93,82	100,71	>0,99	-0,02	0,952	99,3	97,07	101,53	>0,99	-0,02
6h	102,22	98,4	106,03	>0,99	0,09	0,153	98,05	95,27	100,83	>0,99	-0,10	0,607	99,58	97,19	101,97	>0,99	0,07
Velocidad pico concéntrica [m/s]																	
Pre	100						100					100					
Post	97,6	96,42	98,79	0,011	-0,18	0,041	97,41	96,09	98,74	0,015	-0,29	0,054	99,22	98,38	100,06	0,663	-0,06
2h	99,69	98,46	100,92	>0,99	-0,02	0,381	99,16	97,86	100,45	>0,99	-0,13	>0,99	98,56	97,82	99,3	0,015	-0,10
4h	100,44	98,86	102,02	>0,99	0,02	>0,99	98,97	97,42	100,52	>0,99	-0,15	>0,99	99,68	98,55	100,81	>0,99	-0,01
6h	101,43	99,42	103,43	>0,99	0,04	0,094	99,4	98,31	100,48	>0,99	-0,07	>0,99	99,8	98,42	101,18	>0,99	0,00
Momentum de salto [Kg m/s]																	
Pre	100						100					100					
Post	97,69	96,19	99,2	0,066	-0,10	0,258	97,24	95,74	98,73	0,021	-0,13	0,047	99,2	98,38	100,02	0,539	-0,03
2h	99,65	98,4	100,89	>0,99	-0,02	0,542	99,31	97,93	100,69	>0,99	-0,05	0,839	98,57	97,79	99,36	0,024	-0,05
4h	100,29	98,67	101,92	>0,99	0,00	0,921	98,85	97,29	100,42	>0,99	-0,07	>0,99	99,26	98,07	100,45	>0,99	-0,02
6h	101,34	99,42	103,26	>0,99	0,05	0,115	99,88	98,8	100,96	>0,99	-0,01	>0,99	99,94	99,02	100,86	>0,99	-0,01
Potencia media concéntrica / BM [W/kg]																	
Pre	100						100					100					
Post	94,37	91,3	97,44	0,022	-0,23	0,017	94,64	91,37	97,91	0,045	-0,32	0,027	100,58	98,9	102,26	>0,99	0,04
2h	97,52	94,72	100,33	0,778	-0,09	>0,99	97,83	95,47	100,18	0,665	-0,18	>0,99	98,27	96,37	100,17	0,693	-0,05
4h	99,06	95,94	102,19	>0,99	-0,03	>0,99	96,72	93,47	99,98	0,485	-0,24	0,26	100,12	98,34	101,89	>0,99	0,01
6h	99,26	95,39	103,13	>0,99	-0,01	>0,99	97,98	95,18	100,77	>0,99	-0,12	0,649	98,97	96,49	101,46	>0,99	-0,03
RSImod [m/s]																	
Pre	100						100					100					
Post	90,77	82,87	98,67	0,263	-0,22	0,051	90,94	84,96	96,93	0,071	-0,32	0,031	101,5	97,91	105,09	>0,99	0,08
2h	97,59	91,3	103,88	>0,99	-0,06	>0,99	97,76	92,32	103,19	>0,99	-0,12	>0,99	98,58	95,15	102,01	>0,99	-0,05
4h	97,98	92,24	103,73	>0,99	-0,06	>0,99	97,61	92	103,23	>0,99	-0,12	>0,99	101,19	97,52	104,87	>0,99	0,05
6h	97,14	89,81	104,47	>0,99	-0,06	>0,99	97,79	93,41	102,17	>0,99	-0,07	>0,99	99,08	95,28	102,87	>0,99	-0,02

Tabla 15. Continuación.

	Priming						PrimingCaf					Control					
	%	95%CI		p vs pre	d vs Pre	p vs Control*	%	95%CI		p vs pre	d vs Pre	p vs Control*	%	95%CI		p vs pre	d vs Pre
Fuerza a 0 velocidad [N]																	
Pre	100						100						100				
Post	98,22	95,87	100,57	>0,99	-0,13	0,134	99,09	96	102,18	>0,99	-0,06	0,449	102,74	100,1	105,38	0,431	0,15
2h	97,43	94,35	100,51	0,922	-0,16	0,697	98,58	95,38	101,78	>0,99	-0,11	>0,99	99,57	97,15	101,98	>0,99	0,00
4h	97,7	94,62	100,78	>0,99	-0,14	>0,99	97,74	94,18	101,31	>0,99	-0,15	>0,99	99,16	96,22	102,1	>0,99	-0,02
6h	96,85	93,13	100,57	0,883	-0,19	>0,99	99,97	95,81	104,13	>0,99	0,00	>0,99	99,06	96,61	101,51	>0,99	-0,01
Fuerza media concéntrica/BM [N/Kg]																	
Pre	100						100						100				
Post	95,89	93,36	98,43	0,048	-0,31	0,009	96,38	94,41	98,36	0,022	-0,37	0,002	101,27	100,51	102,02	0,038	0,13
2h	98,24	96,27	100,21	0,748	-0,12	0,529	98,7	97	100,39	>0,99	-0,20	0,939	99,94	98,52	101,36	>0,99	0,00
4h	98,76	96,81	100,7	>0,99	-0,06	0,577	97,97	96,17	99,76	0,303	-0,26	0,092	100,64	98,93	102,36	>0,99	0,06
6h	98,53	96,18	100,88	>0,99	-0,08	>0,99	98,34	96,51	100,18	0,722	-0,18	0,662	99,4	97,59	101,22	>0,99	0,05
Impulso concéntrico [Ns]																	
Pre	100						100						100				
Post	97,38	95,98	98,78	0,019	-0,10	0,035	96,73	94,93	98,54	0,024	-0,16	0,019	99,3	98,45	100,14	0,94	-0,03
2h	99,51	98,3	100,73	>0,99	-0,02	0,609	99,02	97,4	100,64	>0,99	-0,07	>0,99	98,48	97,62	99,33	0,027	-0,04
4h	100,32	98,64	101,99	>0,99	0,00	0,813	98,48	96,78	100,19	0,754	-0,08	>0,99	99,27	98,25	100,3	>0,99	-0,02
6h	101,15	99,32	102,98	>0,99	0,05	0,162	99,48	98,08	100,88	>0,99	-0,03	>0,99	99,98	99,23	100,74	>0,99	0,00
Impulso concéntrico 50ms[Ns]																	
Pre	100						100						100				
Post	95,62	90,99	1,26	0,614	-0,12	0,103	95,94	90,78	101,09	>0,99	-0,12	0,167	104	99,74	108,27	0,625	0,18
2h	95,07	88,55	101,25	>0,99	-0,26	>0,99	94,98	90,19	99,78	0,423	-0,17	>0,99	97,56	92,68	102,45	>0,99	-0,08
4h	96,34	90,41	102,26	>0,99	-0,18	>0,99	94,52	88,35	100,71	0,761	-0,22	0,853	98,51	93,69	103,38	>0,99	-0,05
6h	94,57	87,86	101,29	>0,99	-0,23	>0,99	96,08	88,53	103,36	>0,99	-0,08	>0,99	97,44	94,3	100,59	>0,99	-0,04
Peso del participante [kg]																	
Pre	100						100						100				
Post	99,85	99,73	99,97	0,22	-0,01	0,389	99,83	99,52	100,14	>0,99	0,00	0,769	99,98	99,86	100,1	>0,99	0,00
2h	99,95	99,75	100,16	>0,99	0,00	>0,99	100,15	99,86	100,45	>0,99	0,01	>0,99	100,01	99,76	100,26	>0,99	0,00
4h	99,85	99,57	100,13	>0,99	-0,01	0,511	99,89	99,63	100,14	>0,99	0,00	0,554	99,58	99,2	99,96	0,348	-0,02
6h	99,9	99,41	100,39	>0,99	0,00	>0,99	100,48	99,86	101,1	>0,99	0,03	0,405	100,13	99,42	100,84	>0,99	0,01

Tabla 15. Continuación.

	Priming						PrimingCaf					Control					
	%	95%CI	<i>p</i> vs pre	<i>d</i> vs Pre	<i>p</i> vs Control*		%	95%CI	<i>p</i> vs pre	<i>d</i> vs Pre	<i>p</i> vs Control*	%	95%CI	<i>p</i> vs pre	<i>d</i> vs Pre		
Duración fase concéntrica[ms]																	
Pre	100						100					100					
Post	103,97	99,53	108,4	0,743	0,32	0,03	103,82	100,6	107,04	0,248	0,28	0,004	96,82	95,4	98,24	0,005	-0,31
2h	102,63	99,39	105,87	>0,99	0,18	0,227	101,12	97,79	104,45	>0,99	0,15	0,8	98,59	95,89	101,29	>0,99	-0,13
4h	102,66	98,97	106,35	>0,99	0,12	0,358	102,55	99,98	105,11	0,513	0,25	0,204	98,44	94,67	102,21	>0,99	0,10
6h	103,53	99,84	107,21	0,588	0,27	>0,99	102,22	98,96	105,49	>0,99	0,21	>0,99	100,98	97,26	104,69	>0,99	0,10
Duración fase excéntrica [ms]																	
Pre	100						100					100					
Post	101,35	92,78	109,92	>0,99	0,05	0,507	102,29	96,58	108	>0,99	0,11	0,115	95,44	92,66	98,22	0,044	-0,38
2h	100,38	94,79	105,98	>0,99	-0,01	>0,99	100,47	95,29	105,65	>0,99	0,03	>0,99	100,58	98,03	103,14	>0,99	0,05
4h	101,53	94,79	107,15	>0,99	0,08	>0,99	100,16	95,71	104,62	>0,99	0,02	>0,99	98,47	95,02	101,92	>0,99	-0,10
4h	101,94	96,07	107,15	>0,99	0,09	>0,99	100,58	97,54	103,62	>0,99	0,02	>0,99	98,47	95,36	104,88	>0,99	0,05
Tiempo de contracción [ms]																	
Pre	100						100					100					
Post	102,45	95,86	109,05	>0,99	0,16	0,182	102,8	98,11	107,49	>0,99	0,17	0,035	95,98	94,09	97,87	>0,99	-0,41
2h	101,24	96,83	105,65	>0,99	0,05	>0,99	100,65	96,38	104,92	>0,99	0,07	>0,99	99,89	97,58	102,19	>0,99	-0,01
4h	101,98	97,58	106,37	>0,99	0,10	0,717	100,94	98,16	103,71	>0,99	0,08	0,943	98,52	95,16	102,19	>0,99	-0,11
6h	102,55	97,87	107,23	>0,99	0,17	>0,99	101,15	98,12	104,19	>0,99	0,09	>0,99	100,49	96,25	104,73	>0,99	0,09
Profundidad del contramovimiento [cm]																	
Pre	100						100					100					
Post	103,02	97,87	108,37	>0,99	0,11	0,13	103,04	99,54	106,54	0,819	0,12	0,019	95,71	92,86	98,56	0,073	-0,20
2h	101,75	97,71	105,79	>0,99	0,02	0,346	100,47	95,46	105,48	>0,99	0,01	>0,99	97,59	94,87	100,31	0,763	-0,11
4h	101,94	97,03	106,85	>0,99	0,08	0,286	103,15	98,53	107,78	>0,99	0,17	0,346	96,91	91,42	102,4	>0,99	-0,11
6h	103,16	98,44	107,87	>0,99	0,11	>0,99	102,94	98,99	106,9	>0,99	0,14	>0,99	100,49	95,91	105,06	>0,99	-0,11

p vs Control*= Valor *p* para la comparación con la condición Control en el mismo punto de temporal.

El impulso concéntrico presentó valores similares en todos los puntos temporales ($p=0,754$; $d=-0,03$ a $-0,08$) debido a que se incrementó la duración de la fase concéntrica ($p=0,513$; $d=0,15$ a $0,21$). No se observó ningún cambio significativo en la estrategia de salto ni en Priming ni en PrimingCaf. En la condición CON se observó un tiempo de contracción menor en el momento post comparado con los valores pre ($p=0,08$; $d=-0,41$).

5.3.3.2. Percepción subjetiva del estrés y recuperación

Se observó una interacción (condición*momento) en la percepción de la capacidad para rendir físicamente ($F_{2,20}=17,500$; $p<0,001$; $\eta_p^2=0,636$), la capacidad de rendimiento mental ($F_{2,20}=12,123$; $p<0,001$; $\eta_p^2=0,548$) así como en el equilibrio de activación ($F_{2,20}=7,263$; $p=0,004$; $\eta_p^2=0,421$).

Los valores de PPC fueron mayores a las 6h tanto en la condición Priming como PrimingCaf (Tabla 16). Sólo en la condición PrimingCaf se incrementaron los valores de MPC ($p=0,031$; $d=0,53$). Los valores de AB sólo fueron significativamente incrementados tras Priming ($p=0,008$; $d=0,61$) aunque en la condición PrimingCaf se observaron efectos moderados sobre la AB ($p=0,058$; $d=0,83$).

Tabla 16. Evolución temporal y diferencias en el SRSS tras las condiciones Priming, PrimingCaf y Control.

	Priming				PrimingCaf				Control			
	Media	SD	p vs pre	d vs pre	Media	SD	p vs pre	d vs pre	Media	SD	p vs pre	d vs pre
PPC												
Pre	3,09	1,45	0,004	0,74	3,27	1,49	0,001	1,06	3,91	1,14	>0,99	0,00
6h	4,45	1,04			4,82	1,17			3,91	1,04		
MPC												
Pre	3,55	1,13	0,441	0,25	2,91	1,45	0,031	0,53	3,91	0,94	0,176	-0,49
6h	3,91	1,30			4,00	1,00			3,45	0,93		
AB												
Pre	3,27	1,56	0,008	0,61	3,45	1,57	0,058	0,83	4,00	1,10	0,441	-0,12
6h	4,27	1,01			4,64	1,03			3,82	1,08		
OS												
Pre	1,36	1,21	0,779	0,14	1,09	1,58	0,640	0,16	1,36	1,21	0,588	-0,01
6h	1,27	1,27			1,27	1,42			1,27	1,10		

p vs Control*= Valor p para la comparación con la condición Control a las 6h.

5.4. ESTUDIO 4. EFECTOS DE UN EJERCICIO PRIMING SOBRE EL RENDIMIENTO DEL SALTO VERTICAL A LO LARGO DEL MISMO DÍA Y SU RELACIÓN CON LOS NIVELES DE FUERZA DINÁMICA

5.4.1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Identificar si un ejercicio priming de bajo volumen y alta carga, usando la velocidad de ejecución como método para controlar la fatiga, es eficaz para aumentar el rendimiento de salto vertical y la predisposición al ejercicio, así como determinar si existe una relación entre el cambio en las variables del salto vertical y los valores de fuerza dinámica de tren inferior de los participantes.

5.4.2. METODOLOGÍA

Se utilizó un diseño de medidas repetidas aleatorizado y contrabalanceado para identificar las posibles mejoras del rendimiento tras el ejercicio priming. Las variables de la curva fuerza-tiempo del CMJ y las medidas del estrés y recuperación percibidas se evaluaron en tres momentos diferentes a lo largo del mismo día: antes del ejercicio priming -o descanso en la condición control- (Pre), inmediatamente después del ejercicio (Post) y seis horas después (6h). Los participantes visitaron el laboratorio en tres ocasiones distintas para llevar a cabo una sesión de familiarización y dos días experimentales (Priming y Control). Las condiciones experimentales estuvieron separadas por 72 horas para permitir una recuperación completa. En todas las condiciones, los participantes pudieron desayunar, pero se les pidió que se abstuvieran de consumir alcohol y cafeína durante las 24 horas previas a la sesión. Tampoco se les permitió realizar ninguna actividad física extenuante entre las visitas al laboratorio. Los participantes podían salir del laboratorio y comer o beber, pero debían repetir la misma ingesta nutricional y de líquidos en ambas condiciones. Se les preguntó por su ingesta de nutrientes, así como por su actividad física cada vez que acudían al laboratorio para asegurarse de que cumplían las instrucciones.

5.4.2.1. Participantes

Una estimación a priori del tamaño muestral reveló que se necesitaba un mínimo de seis participantes para un ANOVA de medidas repetidas dentro de los factores, asumiendo un eta-cuadrado parcial de 0,533 para el CMJ²¹¹ y una correlación de 0,98 asumiendo valores del 5% y el 1% para los errores tipo I y tipo II, respectivamente. Sin embargo, 14 participantes con experiencia en el entrenamiento de fuerza (10 hombres y 4 mujeres) fueron reclutados para este estudio (Media±SD: masa corporal (BM): 73,2±13,4kg; altura: 1,74±0,08 m; índice de masa corporal: 24,1±3,1; edad: 24,9±3,7 años;

experiencia en el entrenamiento de fuerza: 46,4±27,3 meses; 1RM sentadilla absoluta: 120,5±28,0kg; y 1RM sentadilla relativa a peso corporal: 1,6±0,2kg/BM). Los participantes fueron informados sobre los procedimientos experimentales y los posibles riesgos y beneficios antes de participar. También dieron su consentimiento informado por escrito para participar en esta investigación durante su primera asistencia al laboratorio. El estudio y los procedimientos de consentimiento informado fueron aprobados por el Comité de Ética de la Universidad Camilo José Cela de acuerdo con la última versión de la Declaración de Helsinki. Los sujetos fueron informados de los beneficios y riesgos de la investigación antes de firmar el documento de consentimiento informado aprobado por la institución para participar en el estudio.

5.4.2.2. Diseño experimental

La Figura 10 muestra el diagrama de flujo de la investigación. Durante la familiarización, los participantes firmaron el consentimiento informado y realizaron un calentamiento estandarizado previamente descrito²¹¹. Tras el calentamiento, los participantes realizaron tres CMJ con 30 segundos de descanso entre los intentos. Los participantes volvieron al laboratorio después de dos horas para realizar otros tres CMJ para calcular la reproducibilidad intra-día. Después de la segunda recopilación de datos de CMJ, la evaluación de la media sentadilla máxima de una repetición (1RM)

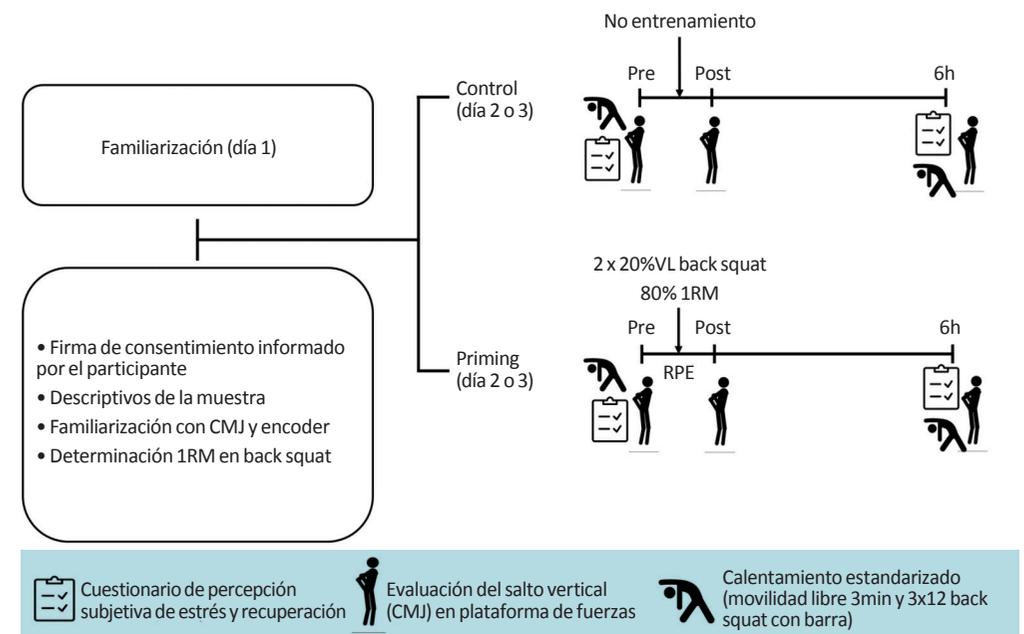


Figura 10. Diagrama de flujo del protocolo experimental del estudio 4.

de los participantes se llevó a cabo siguiendo los métodos de Seitz *et al.*⁶⁸. La técnica y la profundidad de la sentadilla fueron evaluadas visualmente por el investigador principal. Además, se utilizó un encoder lineal (Chronojump, Barcelona, España) para identificar el rango de movimiento durante la sentadilla. Se aplicaron dos condiciones aleatorias a lo largo de la investigación: 1) Control: donde los participantes reposaron sentados durante 15 minutos (duración similar al tiempo que lleva realizar el ejercicio Priming) y 2) Priming: donde los participantes realizaron un ejercicio de fuerza de bajo volumen y alta carga.

Para evitar cualquier efecto de los ritmos circadianos en el rendimiento de los saltos, se programó a los participantes a la misma hora (08:00-10:00AM) en ambas condiciones experimentales^{127,219}. Las características del ejercicio priming se muestran en la Tabla 17.

Para identificar los efectos inmediatos y posteriores producidos por el ejercicio de priming en las variables de salto, cada participante realizó tres CMJ: previo el ejercicio, inmediatamente después y a las 6h. Cada CMJ se realizó en una plataforma ForceDecks FD4000 Dual Force (ForceDecks, Londres, Reino Unido), con una frecuencia de muestreo de 1.000Hz. La velocidad del centro de masas (COM) se calculó dividiendo la fuerza vertical (menos el peso corporal) por la masa corporal y luego integrando el producto mediante la regla del trapecio. La potencia instantánea se determinó multiplicando la fuerza vertical por la velocidad COM. El desplazamiento del COM se determinó integrando dos veces los datos de la fuerza vertical²¹². El CMJ se consideró válido si se realizaba con los brazos

Tabla 17. Características del ejercicio priming del estudio 4.

	Priming			
	Media	SD	Rango	
			Min	Max
Repeticiones Serie 1	4,71	1,20	3	6
Repeticiones Serie 2	4,43	0,94	3	6
Repetición más rápida serie 1 (m/s)	0,54	0,08	0,39	0,68
Repetición más rápida serie 2 (m/s)	0,54	0,09	0,42	0,68
Repetición más lenta serie 1 (m/s)	0,42	0,07	0,3	0,52
Repetición más lenta serie 2 (m/s)	0,43	0,09	0,31	0,58
Pérdida velocidad serie 1 (%)	21,4	2,9	16,4	26,3
Pérdida velocidad serie 2 (%)	21,6	3,6	17,5	26,8
RPE	7,43	1,28	5	9

en alto y si los participantes permanecían completamente quietos durante al menos un segundo durante la fase de pesaje²⁰⁹. El inicio del movimiento se determinó cuando se produjo una caída de 20 N respecto a la fuerza registrada durante la fase de pesaje). Los ICC y el SWC de todas las métricas de fuerza-tiempo se muestran en la Tabla 18.

Las variables dependientes analizadas fueron las siguientes:

- Variables de rendimiento: altura del salto (a través del método impulso-momento), índice de fuerza reactiva modificado (RSImod= altura del salto/tiempo de contracción), velocidad máxima concéntrica y excéntrica y potencias medias concéntricas y excéntricas; tanto absolutas como relativas al peso corporal.

Tabla 18. Reproducibilidad de las variables dependientes del estudio 4.

	ICC	CI 95%		SWC
		Lower	Upper	
Altura de salto [cm]	0,98	0,94	1,00	1,76
RSImod [m/s]	0,97	0,89	0,99	0,03
Potencia media concéntrica [W]	0,99	0,97	1,00	124,0
Potencia media concéntrica / BM [W/kg]	0,98	0,92	0,99	1,10
Velocidad pico concéntrica [m/s]	0,99	0,95	1,00	0,06
Potencia excéntrica media [W]	0,93	0,75	0,98	22,2
Potencia excéntrica media / BM [W/kg]	0,90	0,67	0,97	0,25
Velocidad pico excéntrica [m/s]	0,90	0,67	0,97	0,05
Fuerza media concéntrica [N]	0,99	0,98	1,00	68,7
Fuerza media concéntrica / BM [N/kg]	0,96	0,86	0,99	0,39
Impulso concéntrico [N/s]	1,00	0,99	1,00	9,36
Impulso concéntrico 100ms [N/s]	0,97	0,89	0,99	4,89
Fuerza media excéntrica [N]	1,00	1,00	1,00	26,7
Tiempo de contracción [ms]	0,91	0,69	0,97	22,1
Duración fase concéntrica [ms]	0,96	0,85	0,99	9,30
Duración fase excéntrica [ms]	0,89	0,63	0,97	15,0
Profundidad contramovimiento [cm]	0,93	0,77	0,98	1,36

- Variables cinéticas: fuerza media concéntrica/BM, impulso concéntrico, impulso concéntrico a los 100ms y fuerza media excéntrica.
- Estrategia de salto: duración de las fases concéntrica y excéntrica, tiempo total de contracción y profundidad del contramovimiento.

El estrés y recuperación percibidos se evaluaron mediante una adaptación del SRSS^{16,149} en el momento previo y a las seis horas. En la SRSS cada dominio se puntúa directamente utilizando una escala Likert de 7 puntos (0-6) donde “0” significa “no se aplica en absoluto” y “6” significa “se aplica completamente”. Se pidió a los participantes que indicaran cómo se sentían en cada momento. Esta prueba psicométrica ha sido validada recientemente, mostrando una fiabilidad adecuada¹⁴⁹. Para utilizar el SRSS de forma similar a las investigaciones anteriores con ejercicios de priming¹⁶, sólo se preguntó por la capacidad de rendimiento físico, la capacidad de rendimiento mental, el equilibrio de activación y el estrés general. Las instrucciones para responder a estas pruebas son análogas a las utilizadas en el SRSS original.

5.4.2.3. Análisis estadístico

Las pruebas estadísticas se realizaron con IBM SPSS Statistics v26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EE.UU.). Los datos registrados durante las familiarizaciones se distribuyeron con normalidad. Los ICC se analizaron de la siguiente manera: fiabilidad pobre, <0,5; fiabilidad moderada, 0,5-0,75; fiabilidad buena, 0,75- 0,90; y fiabilidad excelente, >0,90²⁰³. El SWC se calculó de la siguiente manera: $SWC = 0,2 \times SD$ entre sujetos²¹⁸. Se realizaron ANOVAs de dos vías de medidas repetidas para identificar los efectos de la intervención con ejercicio priming y el momento de la evaluación. Se utilizó la prueba *post-hoc* de Bonferroni para comprobar las comparaciones por pares. Además, se calcularon las magnitudes estimadas (*d* de Cohen) entre las condiciones. Se clasificaron de la siguiente manera: $\leq 0,2$ trivial, $\geq 0,2-0,6$ pequeña, $\geq 0,6-1,2$ moderada, $\geq 1,2-2,0$ grande y ≥ 2 muy grande²⁰⁶. También se calcularon las correlaciones de Pearson (*r*) y el coeficiente de determinación (r^2) para determinar las posibles relaciones entre el cambio en las métricas del salto con la fuerza muscular en el tren inferior. Los resultados se expresan como media \pm desviación estándar (SD). El nivel de significación se fijó en $p < 0,05$.

5.4.3. Resultados

El rendimiento en el CMJ y las variables cinéticas asociadas se vieron reducidas tras el ejercicio priming sin presentar diferencias en la estrategia de salto ($p > 0,05$). Concretamente, se redujo la altura de salto ($\Delta[95\%CI] = -2,47\text{cm}$ [-3,72 a -1,22]; $p = 0,001$), la potencia media concéntrica/BM ($\Delta[95\%CI] = -1,49\text{W/Kg}$ [-9,97 a -0,01]; $p = 0,049$), la velocidad pico concéntrica ($\Delta[95\%CI] = -0,086\text{m/s}$ [-0,129 a -0,044]; $p = 0,001$) y el impulso concéntrico ($\Delta[95\%CI] = -7,19\text{Ns}$ [-10,70 a -3,61]; $p = 0,001$) en comparación con la condición Control (Tabla 19).

Tabla 19. Diferencias en las variables cinéticas y cinemáticas del CMJ entre las condiciones Priming y Control.

	Priming				Control			
	Media	95%CI	p vs pre	p vs Control*	d vs Control*	Media	95%CI	p vs pre
Altura de salto [cm]								
Pre	35,8	30,7	40,9	0,622	-0,01	36,0	30,7	41,3
Post	33,0	28,1	37,8	0,003 ^{##}	-0,24	35,4	30,1	40,8
6h	36,1	31,0	41,2	>0,99	-0,02	36,2	31,3	41,2
RSImod [m/s]								
Pre	0,49	0,42	0,57	0,283	0,08	0,48	0,41	0,55
Post	0,45	0,39	0,51	0,149	-0,15	0,48	0,4	0,56
6h	0,49	0,41	0,57	0,143	0,14	0,47	0,39	0,56
Potencia media concéntrica [W]								
Pre	1984,5	1535,0	2433,9	0,465	0,04	2060,4	1721,8	2398,9
Post	1870,0	1450,7	2289,3	0,045 ^{##}	-0,15	2077,8	1707,4	2448,2
6h	1994,7	1530,8	2458,5	>0,99	0,04	2054,7	1719,6	2389,8
Potencia media concéntrica / BM [W/kg]								
Pre	28,1	25,1	31,2	0,240	0,08	27,7	24,7	30,6
Post	26,4	23,7	29,1	0,014 ^{##}	-0,23	27,9	24,5	31,2
6h	28,0	24,8	31,3	>0,99	0,08	27,6	24,5	30,6
Velocidad pico concéntrica [m/s]								
Pre	2,74	2,55	2,93	0,836	0,00	2,74	2,55	2,94
Post	2,64	2,45	2,84	0,005 ^{##}	-0,23	2,73	2,53	2,93
6h	2,75	2,56	2,94	>0,99	-0,02	2,76	2,58	2,94

Tabla 19. Continuación.

	Priming				Control			
	Media	95%CI	p vs pre	p vs Control*	d vs Control*	Media	95%CI	p vs pre
Potencia excéntrica media [W]								
Pre	554,1	483,1	625,2	0,952	-0,03	555,1	488,1	622,1
Post	554,9	492,5	617,3	>0,99	0,04	551,8	483,6	620,0
6h	549,9	484,0	615,8	>0,99	0,00	553,4	476,9	629,8
Potencia excéntrica media / BM [W/kg]								
Pre	7,55	6,87	8,23	0,942	-0,04	0,01	6,99	8,14
Post	7,59	7,02	8,16	>0,99	0,06	7,53	6,94	8,11
6h	7,46	6,95	7,98	>0,99	0,01	7,51	6,79	8,23
Velocidad pico excéntrica[m/s]								
Pre	-1,48	-1,62	-1,34	0,829	0,07	-1,49	-1,61	-1,57
Post	-1,51	-1,64	-1,38	>0,99	0,472	-1,48	-1,62	-1,34
6h	-1,46	-1,56	-1,36	>0,99	0,409	-1,48	-1,57	-1,29
Fuerza media concéntrica [N]								
Pre	1412,3	1234,5	1590,1	0,348	0,237	1399,8	1215,8	1583,8
Post	1367,9	1201,8	1534,0	0,057	0,121	1408,9	1211,7	1606,1
6h	1407,8	1224,9	1590,7	>0,99	0,237	1386,0	1212,0	1560,1
Fuerza media concéntrica / BM [N/kg]								
Pre	19,1	18,2	20,1	0,280	0,12	18,9	17,9	19,9
Post	18,5	17,7	19,3	# 0,046	0,158	19,0	17,8	20,2
6h	19,0	17,9	20,1	>0,99	0,259	18,7	17,7	19,7

Tabla 19. Continuación.

	Priming				Control			
	Media	95%CI	p vs pre	p vs Control*	d vs Control*	Media	95%CI	p vs pre
Impulso concéntrico [N/s]								
Pre	194,5	168,9	220,2	0,396	-0,01	195,8	168,1	223,5
Post	187,1	160,7	213,4	*# 0,004	-0,12	194,3	165,9	222,7
6h	196,5	169,0	224,0	0,852	-0,01	196,9	170,0	223,9
Impulso concéntrico 100ms [N/s]								
Pre	92,6	80,2	105,1	0,127	0,17	88,7	76,2	101,1
Post	88,2	77,2	99,2	0,526	-0,10	92,0	77,2	106,9
6h	90,6	78,0	103,2	>0,99	0,13	87,6	75,5	99,8
Fuerza media excéntrica [N]								
Pre	723,5	646,7	800,3	0,813	0,00	723,9	646,3	801,5
Post	722,6	645,7	799,5	0,546	0,00	722,7	645,0	800,4
6h	723,8	647,5	800,0	>0,99	-0,01	724,6	649,3	800,0
Tiempo de contracción [ms]								
Pre	783,1	715,3	851,0	0,517	-0,14	793,9	740,7	847,1
Post	792,1	737,2	846,9	>0,99	0,04	789,8	717,9	861,7
6h	793,1	737,2	849,1	>0,99	-0,24	818,4	757,6	879,1

Tabla 19. Continuación.

	Priming				Control			
	Media	95%CI	p vs pre	p vs Control*	d vs Control*	Media	95%CI	p vs pre
Duración fase concéntrica [ms]								
Pre	287,0	263,1	310,9	0,234	-0,16	294,1	269,8	318,5
Post	291,9	269,4	314,3	>0,99	0,04	291,5	262,0	321,0
6h	291,9	270,7	313,2	>0,99	-0,28	301,9	281,4	322,5
Duración fase excéntrica [ms]								
Pre	496,1	447,0	545,3	0,770	-0,12	499,8	466,9	532,7
Post	500,2	463,3	537,1	>0,99	0,05	498,3	450,2	546,4
6h	501,2	463,6	538,8	>0,99	-0,18	516,4	471,0	561,9
Profundidad contramovimiento [cm]								
Pre	-37,9	-41,8	-34,1	0,685	0,12	-38,5	-41,6	-35,3
Post	-38,7	-42,2	-35,1	>0,99	-0,10	-38,0	-41,5	-34,5
6h	-38,1	-41,5	-34,7	>0,99	0,16	-39,1	-42,4	-35,9

A las 6h, la altura de salto ($\Delta[95\%CI] = -0,14\text{cm} [-0,92 \text{ a } 0,64]$; $p=0,700$), la potencia media concéntrica ($\Delta[95\%CI] = 0,47\text{W/Kg} [-0,47 \text{ a } 1,41]$; $p=0,301$), la velocidad pico concéntrica ($\Delta[95\%CI] = -0,005\text{m/s} [-0,035 \text{ a } 0,025]$; $p=0,726$) y el impulso concéntrico ($\Delta[95\%CI] = -0,45\text{Ns} [-2,07 \text{ a } 1,17]$; $p=0,559$) fueron similares entre Priming y Control. No se observaron cambios en la estrategia de salto en ninguna de las posibles comparaciones (Tabla 19). El análisis de respondedores basado en el SWC muestra que 4/14 participantes incrementaron la altura de salto a las 6h, que 6/14 presentaron un rendimiento similar y que 4/14 presentaron una altura de salto menor (Figura 11).

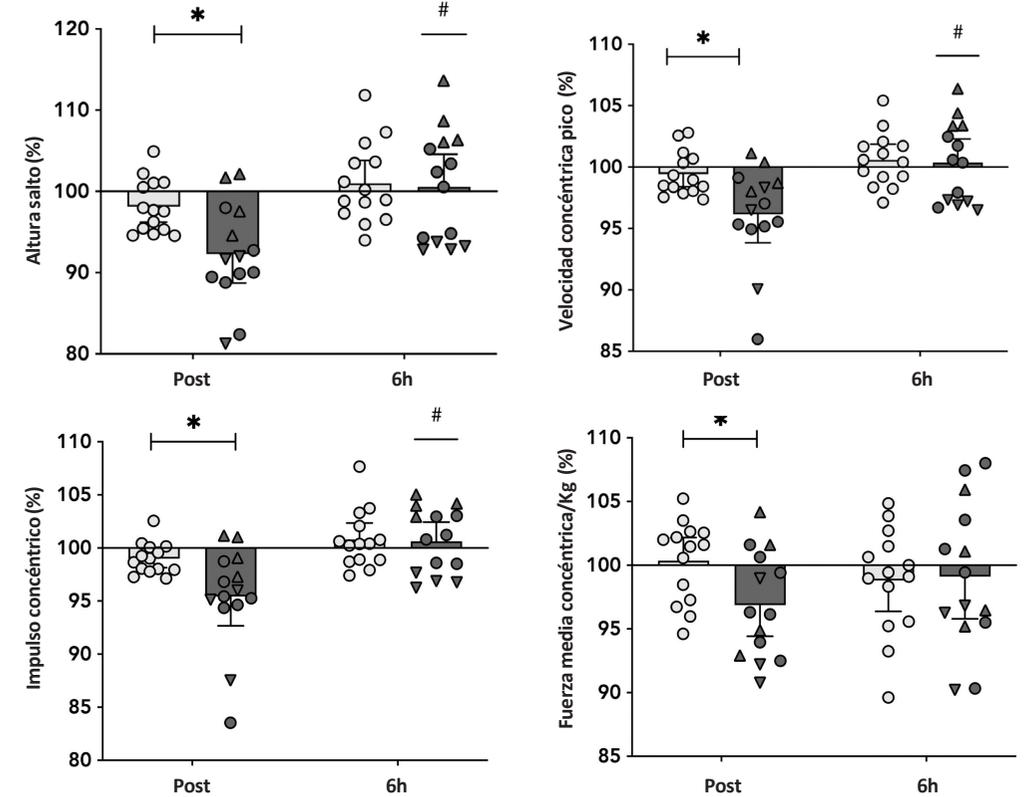


Figura 11. Cambio medio (barras) e individual (formas), expresado como porcentaje de cambio respecto los valores preejercicio (eje y), en la altura de salto (Panel A), velocidad pico concéntrica (Panel B), el impulso concéntrico (Panel C) y la fuerza concéntrica/BM (Panel D) tras las condiciones experimentales (Priming y Control). El análisis de respondedores se calculó usando los resultados de la altura de salto vertical a las 6h. Los triángulos hacia arriba indican respondedores positivos, los triángulos hacia abajo indican respondedores negativos y los círculos indican no respondedores al ejercicio priming a las 6h post ejercicio. *= Diferencias significativas entre Priming y Control en la misma evaluación temporal ($p < 0,005$). # = Diferencias significativas intracondición entre post y 6h.

Existe una relación significativa, directa y moderada entre el cambio porcentual en la altura de salto, la velocidad máxima concéntrica y el impulso concéntrico y los valores de 1RM de sentadilla tanto inmediatamente después, como a las 6h tras el ejercicio Priming (Figura 12). Curiosamente, el 1RM/BM mostró relaciones pequeñas no significativas con el cambio en la altura de salto ($r=0,21$; $p=0,240$), la velocidad pico concéntrica ($r=0,18$; $p=0,264$) y el impulso concéntrico ($r=0,19$; $p=0,254$) en la evaluación Post. Del mismo modo, a las 6h relaciones pequeñas y no significativas se observaron entre el 1RM/BM y el cambio en la velocidad concéntrica pico ($r=0,18$; $p=0,392$), el impulso concéntrico ($r=0,11$; $p=0,357$) y la fuerza media concéntrica/BM ($r=0,25$; $p=0,198$).

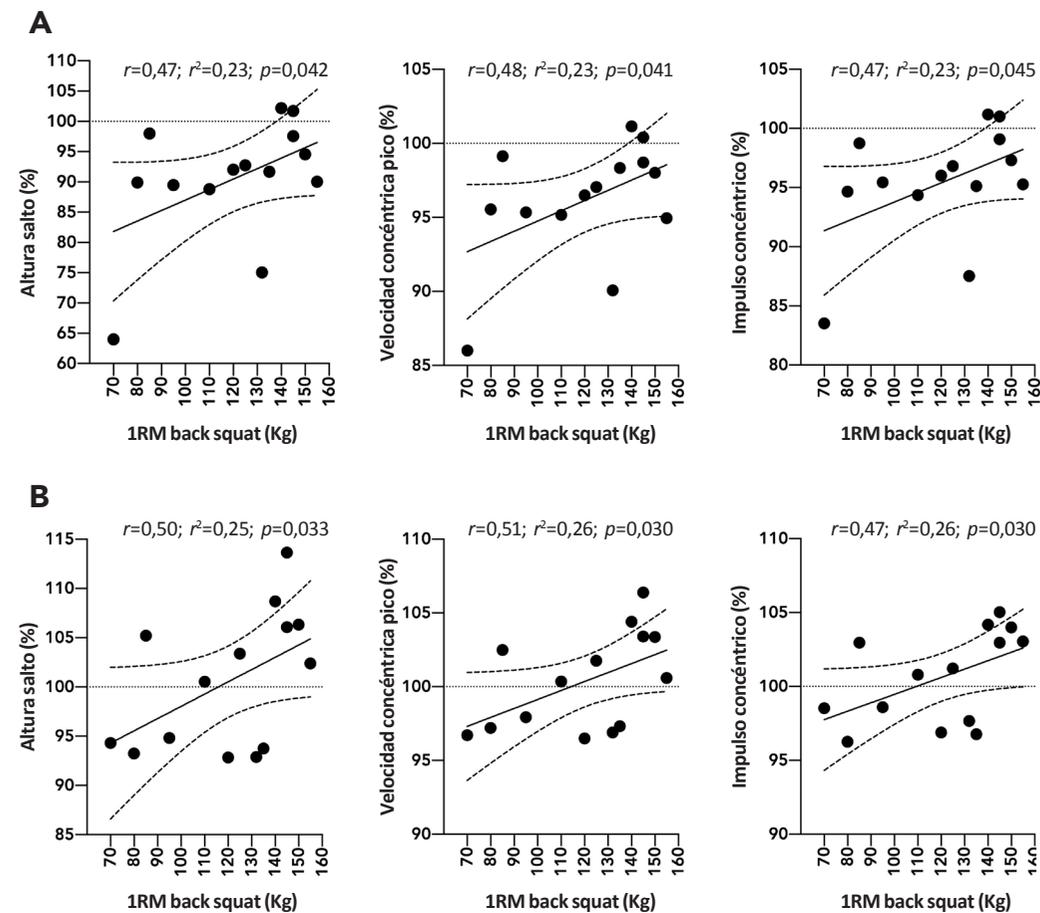


Figura 12. A) Relación entre 1RM absoluta en media sentadilla y el cambio en las variables del CMJ en la evaluación post, y B) relación entre 1RM absoluta en media sentadilla y el cambio en las variables del CMJ a las seis horas. // CMJ: *Countermovement jump*; 1RM: Repetición máxima

Los cambios en la altura de salto a las 6h en la condición Priming también presentaron relación con el cambio sufrido en el RSImod, así como con el cambio en diferentes variables cinéticas y cinemáticas de la fase concéntrica del salto ($r>0.54$; $p<0.046$) pero no con métricas de la fase concéntrica ($p<0.05$) (Tabla 20).

Tabla 20. Relación entre el cambio porcentual en la altura de salto y el cambio en la métricas de salto 6h después del ejercicio de priming.

Correlación:	r	p	Relación
Δ altura CMJ y:			
Δ RSI-mod	0,60	0,023	Fuerte
Δ Potencia media concéntrica/BM	0,76	0,002	Fuerte
Δ Velocidad pico concéntrica	0,99	<0,001	Fuerte
Δ Fuerza media concéntrica/BM	0,54	0,046	Fuerte
Δ Impulso concéntrico	0,97	<0,001	Fuerte
Δ Impulso concéntrico 100 ms	0,47	0,045	Moderada
Δ Potencia excéntrica/BM	0,11	0,718	Pequeña
Δ Velocidad pico excéntrica	0,23	0,439	Pequeña
Δ Fuerza media excéntrica	-0,47	0,093	Moderada

r=Coefficiente de correlación de Pearson; p= valor p

La percepción subjetiva del PPC fue mayor a las 6h en comparación con el momento Pre en la condición Priming ($\Delta[95\%CI] = +1,32$ puntos [0,71 a 1,93]; $p < 0,001$). La comparativa entre grupos a las 6h mostró un incremento no significativo a favor de la condición Priming ($\Delta[95\%CI] = +0,64$ puntos [-0,22 a 1,31]; $p = 0,057$) (Figura 13). El balance general de activación fue mayor en la condición Priming comparado con el momento pre ($\Delta[95\%CI] = +0,86$ puntos [0,31 a 1,41]; $p = 0,005$).

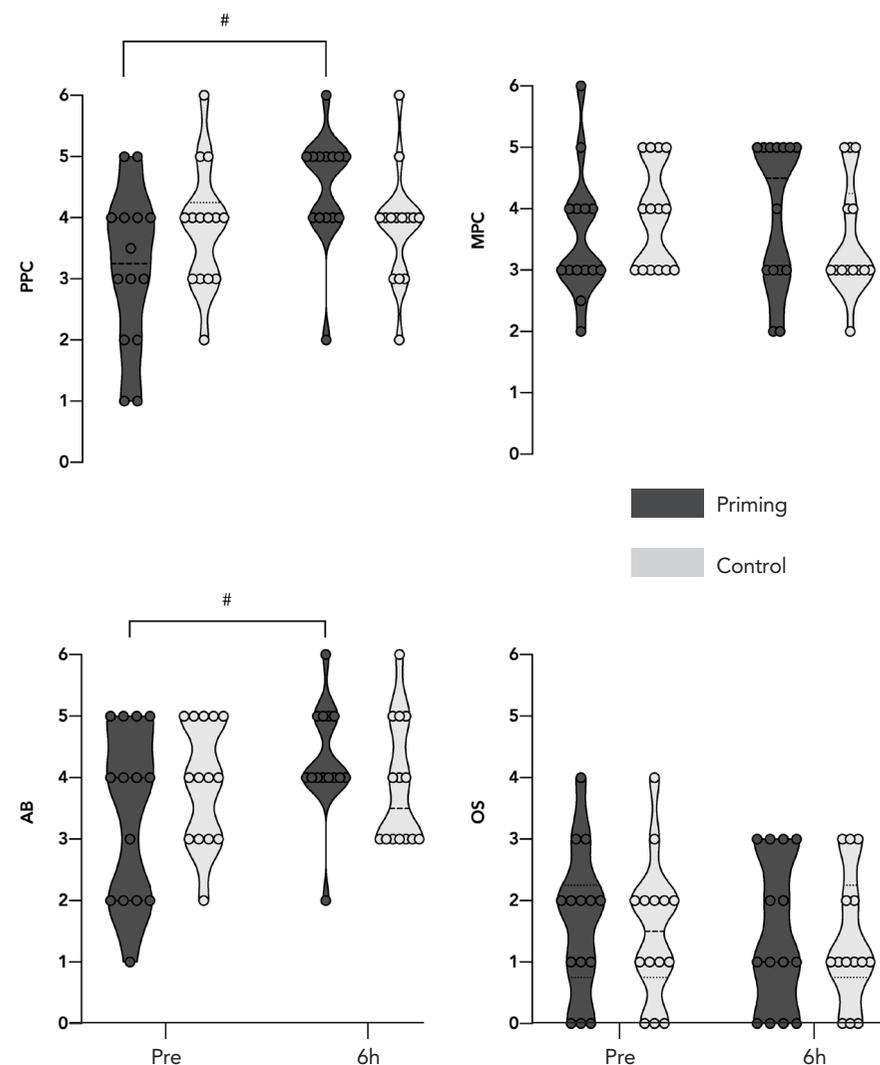


Figura 13. Cambios en los niveles de estrés y recuperación percibidos tras las condiciones Priming y Control. # = Diferencias significativas intracondición entre pre y 6h.

6. DISCUSIÓN

6.1. EFECTOS DE LAS ESTRATEGIAS PRECOMPETITIVAS SOBRE LOS MARCADORES DE RENDIMIENTO DEPORTIVO

A lo largo de los cuatro estudios desarrollados en la presente tesis doctoral, se han evaluado diferentes marcadores de rendimiento deportivo a lo largo del mismo día tras diferentes ejercicios priming, tras la ingesta aguda de cafeína y la combinación de ambas estrategias. Este tipo de estrategias han presentado potenciales efectos beneficiosos para el rendimiento de los participantes que han realizado los diferentes protocolos de investigación, aunque no todos se beneficiaron de su implementación.

Los principales hallazgos del Estudio 1 nos indican que la realización de dos series con una pérdida de velocidad del 20% respecto a la mejor repetición con el 80%1RM en el ejercicio de sentadilla permite incrementar la altura del CMJ a las 6h. Por otro lado, esta misma condición, incrementó la velocidad de ejecución y potencia con el 80%1RM en media sentadilla. A pesar del principio de especificidad²²⁰, el priming con OL no mejoró la velocidad de ejecución ni la potencia ante dicha carga. En el estudio 2, observamos que 3mg/kg de cafeína incrementó diferentes variables cinéticas tanto de saltos bilaterales como unilaterales que se tradujeron en un incremento en la altura de salto vertical. Además, esas mejoras fueron acompañadas de una estrategia de salto diferente, presentando un mayor rendimiento en salto con un menor tiempo de ejecución tal y como explican los incrementos en el RSI_{mod} y el FT:CT. Dados los potenciales efectos positivos observados con ambas estrategias precompetitivas, en el estudio 3 observamos si la ingesta de cafeína complementaba a la realización del ejercicio priming por la mañana identificando que los ejercicios priming de ambas condiciones (Priming y PrimingCaf) produjeron una disminución inmediata de la altura de salto, la velocidad pico concéntrica, la potencia media concéntrica/BM, la fuerza media concéntrica/BM y el impulso concéntrico. El rendimiento en esas variables se recuperó por completo tras sólo dos horas de descanso. Ninguno de los dos ejercicios priming aumentó la altura de salto, la RSI_{mod} ni ninguna variable cinética por encima de los valores preejercicio en ningún momento. Sin embargo, hubo una variabilidad intrasujeto en su respuesta, con efectos beneficiosos para algunos y perjudiciales para otros, para la altura de salto en el punto de tiempo de 6h. Por último, en el estudio 4, observamos que la realización de dos series de sentadilla con el 80%1RM no produjo un incremento general del rendimiento en las variables de salto analizadas tras 6h de descanso. El análisis individual mostró que el ~28% de los participantes aumentaron el salto vertical por encima del SWC.

6.1.1. EFECTOS DE LOS EJERCICIOS PRIMING A LO LARGO DEL MISMO DÍA SOBRE LOS MARCADORES DE RENDIMIENTO

La aplicación de los ejercicios priming desarrollados en el Estudio 3 disminuyeron inmediatamente la altura de salto vertical entre un 5,5 y un 6,3% y el RSI_{mod} entre un 9,1 y un 9,2% para las condiciones Priming y PrimingCaf, respectivamente. Mientras que en el Estudio 4 pudimos observar una disminución del 7,9% en la altura de salto, del 8,2% en el RSI y del 6,2% en la potencia concéntrica/BM. Investigaciones previas con entrenamientos de fuerza han mostrado reducciones inmediatas dispares en la altura de salto vertical^{12,25,26,99,145} (Tabla 2), algunas de ellas similares a las observadas en nuestros estudios debido a la similitud entre protocolos de ejercicio (bajo volumen y cargas moderadas a altas) y al control de la fatiga²⁶. Por el contrario, incrementar el volumen de entrenamiento y el índice de esfuerzo llevan a grandes reducciones en la actividad de la bomba sodio-potasio²²¹, limitando la captación de calcio²²² en el retículo sarcoplasmático que a su vez limita la producción de fuerza y potencia muscular y precisa de mayores tiempos de recuperación¹². Por todo ello, incrementar el volumen de entrenamiento sin controlar la presencia de fatiga no parece una estrategia adecuada para un ejercicio priming ya que la fatiga generada posiblemente limitará el rendimiento deportivo en el momento de la competición. Harrison *et al.*²⁶ mostraron que 10 repeticiones repartidas en cuatro series con alta carga externa (67 a 87%1RM), disminuyeron la altura de salto un 3,7% a los cinco minutos tras la realización del ejercicio, siendo una menor reducción de la altura de salto que la disminución media observada en nuestros estudios 3 y 4 (-3,7 vs -6,6%). Por el contrario, Pareja-Blanco *et al.*¹² observaron mayores reducciones en la capacidad de salto ($\Delta = -12,0\%$) tras la realización de tres series de cinco repeticiones de 10 posibles (3x5[10]) con el 80%1RM. La presencia de cinco minutos de recuperación entre la finalización del ejercicio y la primera evaluación post parece permitir una mayor recuperación de los depósitos de PCr²²³ evitando la deriva al uso del sistema glucolítico que, a su vez, limita la producción de hidrogeniones intracelulares permitiendo mantener la capacidad para producir fuerzas y velocidad máximas²²⁴. Además, las diferencias presentes entre nuestros resultados y los protocolos de entrenamiento con un carácter de esfuerzo similar (10-15 repeticiones con el 80%1RM con una pérdida de velocidad aproximada del 20% en la sentadilla) pueden venir explicadas, al menos en parte, por las diferencias en niveles de fuerza de los participantes³⁸, la diferencia en el número de mujeres participantes²²⁵, la distribución de fibras musculares²²⁶ y/o el cronotipo de los participantes²²⁷.

De acuerdo con el estudio 3, la altura de salto, el RSI_{mod} (Figura 9) y las variables cinéticas (Tabla 15) del salto vertical se recuperaron completamente tan sólo después de 2h de descanso. Sólo la la fuerza concéntrica/BM a las 4h en la condición PrimingCaf se mantuvo reducida respecto a los valores preejercicio. Curiosamente, para minimizar esa caída en la producción de fuerza, los participantes adoptaron una estrategia de salto con una mayor duración de la fase concéntrica, aumentando así el impulso concéntrico

y, por tanto, generando una mayor velocidad concéntrica del centro de masas, lo que limitaría las reducciones en la altura del salto (Tabla 3). Sólo un estudio ha evaluado los cambios en el rendimiento deportivo con menos de 2h de descanso tras un ejercicio priming de fuerza⁷⁵. Lo que observaron fue que cuatro series de tres repeticiones en ejercicios de sentadilla y press de banca con resistencia variable en forma de bandas elásticas, aumentó la fuerza ($p < 0,05$; $\Delta = 13,9 \pm 7,0\%$) y la potencia ($p < 0,05$; $\Delta = 8,5 \pm 5,8\%$) en el lanzamiento de press de banca, pero no la velocidad concéntrica ($p > 0,05$; $\Delta = -1,5\% \pm 2,9\%$), la fuerza ($p > 0,05$; $\Delta = -2,3\% \pm 6,0\%$) o la potencia máxima ($p > 0,05$; $\Delta = -3,4\% \pm 4,9\%$) en el CMJ⁷⁵ en comparación con los valores previos al ejercicio. A pesar de las diferencias en la carga externa entre el ejercicio de priming de Mason *et al.*⁷⁵ y el nuestro, ambos tipos de ejercicios de priming no parecen aumentar ni limitar el salto vertical si se implementan alrededor de 2h antes de la evaluación. La ausencia de reducciones en el rendimiento del salto vertical de 2 a 4h después del ejercicio de priming podría estar relacionada con la ausencia de reducciones en la capacidad contráctil del músculo o con la ausencia de acidosis local²²⁸, tal y como hemos indicado en el punto anterior. Sin embargo, no existen investigaciones que hayan analizado directamente la fisiología de la fatiga producida tras este tipo de ejercicio de bajo volumen. Las características de los ejercicios priming realizados (bajo volumen e índice de esfuerzo, con alta carga) permitiría a los deportistas estar en mejores condiciones neuromusculares para realizar una nueva sesión de entrenamiento en un periodo de tiempo más corto, permitiendo acumular mayores volúmenes de entrenamiento con menores índices de esfuerzo o generando un entorno más favorable para llevar a cabo un entrenamiento aeróbico de forma concurrente con el entrenamiento de fuerza²²⁹.

Desde el punto de vista de la función neuromuscular, la recuperación en la producción de fuerza isométrica máxima, la excitabilidad neural periférica y el potencial máximo evocado, presentaron un tiempo de recuperación similar a la recuperación observada en los estudios 1,3 y 4 para la altura de salto vertical. Tras 15 (3x5) repeticiones en curl de bíceps con el 94%1RM, dos horas de descanso fueron necesarias para que los valores de MVIC, Mmax y MEP volvieran a los valores basales, sugiriendo que la fatiga central y periférica tras un entrenamiento de muy alta carga presenta una ventana de recuperación menor a la tradicionalmente establecida¹.

La principal ventana de tiempo donde se ha tratado de identificar los efectos de los ejercicios priming sobre el rendimiento deportivo es entre las 5 y las 8h tras su realización^{25,26,73,87-90,92,93,95,98,99,230}. En los estudios 1, 3 y 4 de la presente tesis doctoral identificamos los efectos de ejercicios priming con bajo volumen (2 series) en el ejercicio de media sentadilla con diferentes cargas externas (OL y 80%1RM). Tras 6h de recuperación diferentes marcadores de rendimiento presentaron resultados dispares entre el estudio 1 y los estudios 3 y 4. Es reseñable que en todos los estudios se presentaron los datos de reproducibilidad y sensibilidad de las variables dependientes analizadas iden-

tificando una gran reproducibilidad en la mayoría de ellas (Tablas 10, 14 y 18). Los resultados del ANOVA del primer estudio identificaron pequeños incrementos en la velocidad de ejecución ($p=0,004$; $\Delta = 8,1\%$ [3,2-13,3]; $d=0,32$ [0,13-0,52]) y la potencia media ($p=0,044$; $\Delta = 9,7\%$ [4,0-15,6]; $d=0,24$ [0,10-0,37]) desarrollada en la media sentadilla a las 6h tras el ejercicio Priming con el 80%1RM en comparación con la condición Control. También observamos un incremento moderado en la altura del salto vertical ($p=0,006$; $\Delta = 6,5\%$ [3,4-9,5]; $d=0,35$ [0,19-0,51]). Sin embargo, en los estudios 3 y 4 no observamos incrementos generales en las variables cinéticas, cinemáticas y de rendimiento del salto vertical. Sólo atendiendo a las respuestas individuales podemos identificar que 8 de los 25 participantes de los estudios 3 y 4 presentaron una mayor altura de salto por encima del SWC a las 6h, mientras que 12 de los 25 recuperaron por completo la capacidad de salto. Es decir, 20 de los 25 participantes de los estudios 3 y 4 recuperaron por completo o incluso incrementaron la capacidad de salto a las 6h tras la realización de un ejercicio priming lo que sugiere que este tipo de sesiones pueden llevarse a cabo con el objetivo de incrementar el rendimiento deportivo para el momento de la competición en aquellos participantes que presenten una respuesta adaptativa positiva o también con el objetivo de incrementar el volumen de entrenamiento de fuerza sin interferir en las sesiones desarrolladas durante las horas o días siguientes.

De acuerdo con nuestras observaciones, la mayoría de las investigaciones que han identificado la respuesta de un ejercicio priming han observado incrementos, o al menos recuperaciones completas, pasadas 6-48h tras su realización^{12,25,26,72,74,88,90-95,98,99,230-232}. Harrison *et al.*²⁶ mostraron que cuatro series con el 67-87%1RM permiten incrementar la altura del SJ un 4,5% a las 8h. También se incrementó la fuerza media propulsiva del CMJ un 2,3%. De igual manera, 24 repeticiones de *trapbar deadlift* en Jugadores de cricket profesionales con cargas entre el 50 y el 85%1RM aumentaron significativamente el CMJ y redujeron los tiempos en sprint tras 5:30h de descanso⁹⁰. Por otro lado, no sólo cargas externas altas (>75%1RM) pueden incrementar el rendimiento a lo largo del mismo día. Saez Saez de Villarreal⁹⁵ identificaron que ejercicios Priming, ya sea con CMJ con carga óptima, como sentadillas pesadas (80-85%1RM) o muy pesadas (85-95%1RM) aumentaron el rendimiento del DJ a las 6h mostrando una altura de CMJ similar a los valores preejercicio. De hecho, cargas del 40%1RM en el ejercicio *Jump Squat* incrementaron la altura del CMJ, el RSI en DJ, así como las curvas fuerza-, velocidad-, potencia-tiempo del CMJ a las 24h de la realización del ejercicio priming en comparación con un grupo control^{72,91}. Por lo tanto, atendiendo a nuestras observaciones y las de investigaciones previas, el uso de ejercicios priming permite recuperaciones completas e incluso incrementos en el rendimiento del salto vertical, así como sus métricas asociadas entre las 6 y 24 horas tras la finalización del ejercicio.

De acuerdo con investigaciones que han explorado los mecanismos hormonales y neurofisiológicos de la recuperación (y potenciación) tras diferentes ejercicios de fuer-

za de bajo volumen existen dos principales procesos que podrían explicar las mejoras del rendimiento deportivo a lo largo del día tras un ejercicio priming^{27,88}. Un mecanismo que podría, al menos en parte, influir en la respuesta aguda a los ejercicios priming es el reducido tiempo de recuperación y supercompensación que puede presentar el tracto corticoespinal tras un ejercicio orientado a la producción de fuerza²⁷. En este sentido, se ha demostrado que la Mmax disminuye tras contracciones máximas²³³ estando esta disminución posiblemente asociada a reducciones en la eficiencia de la bomba sodio-potasio²³⁴ y/o a alteraciones del patrón de reclutamiento de motoneuronas o de la tasa de disparo¹⁰⁵. Teniendo esto en cuenta, Latella *et al.*²⁷ observaron un efecto de supercompensación, tanto en la excitabilidad neural periférica como en la producción de fuerza isométrica máxima, a las 6h de la realización de un ejercicio orientado a la producción de fuerza (5x3 94%1RM). Por otro lado, Cook *et al.*⁸⁸ observaron mejoras en el rendimiento del 3RM de press banca y sentadilla, así como en los tiempos en sprint y potencia en salto vertical tras la realización de un ejercicio priming de fuerza llevado hasta el fallo muscular. Estos incrementos del rendimiento deportivo fueron acompañados de atenuaciones en el descenso circadiano de la testosterona y el cortisol en comparación al grupo Control. A pesar de no representar causalidad, diferentes investigaciones han mostrado que los niveles de T pueden predecir el rendimiento físico²³⁵⁻²³⁷ y se han relacionado tanto con la producción de fuerza^{127,130} como con la motivación¹²⁹ y la agresividad previas a una competición. Por ello, la realización de un ejercicio priming durante la mañana podría generar un entorno hormonal y motivacional superior que no realizar ningún tipo de ejercicio. Sin embargo, las respuestas hormonales al ejercicio físico pueden presentar una alta variabilidad intraindividuo⁷⁴. Atendiendo a la literatura previa, los incrementos observados en la altura de salto en los estudios 1, 3 y 4, podrían ser potencialmente explicados por los cambios en las concentraciones de testosterona y cortisol tras el ejercicio.

6.1.2. EFECTOS DE LA INGESTA DE CAFEÍNA SOBRE EL CMJ

Los objetivos del estudio 2 fueron identificar los efectos de 3mg/kg de cafeína en el rendimiento del salto, la cinética y la cinemática del CMJ bilateral y unilateral, en todas sus fases, en atletas de élite de jiu-jitsu. Tal y como se ha observado previamente, dosis bajas y altas de cafeína pueden incrementar la altura del CMJ y el rendimiento explosivo del tren inferior^{172,183,185,190,195,208,238,239}. De hecho, nuestros resultados indicaron que la fuerza de frenado media excéntrica, la potencia máxima, el impulso concéntrico y el tiempo de vuelo en el CMJ bilateral fueron mayores tras la ingesta de cafeína, lo que se tradujo en una mayor altura de salto. Estos aumentos fueron acompañados por una ejecución de salto diferente, como se explica por las diferencias entre las condiciones de placebo y cafeína en el RSI_{mod} y FT:CT. Respecto al CMJ unilateral, se mostraron incrementos en el RSI_{mod}, el tiempo de vuelo, la altura de salto y el FT:CT. Es importante destacar

que esta es la primera investigación que identifica el SEM y el MDC de las variables relacionadas con el CMJ unilateral en deportistas de combate de alto nivel. Nuestros resultados mostraron incrementos del 2,7% (0,8 cm) al 4,4% (1,23 cm) en la altura de salto, dependiendo del método de cálculo de la altura (impulso-momento o tiempo de vuelo), tras el consumo de 3mg/kg de cafeína. Estos resultados están en línea con literatura previa que utilizó dosis bajas a moderadas (3-6mg/kg) de cafeína como ayuda ergogénica^{172,179,183,208} observándose incrementos del 3,4 al 4,7% en la altura de salto en atletas de voleibol, balonmano y alumnos universitarios. Tras un análisis más profundo, nuestros datos revelaron que la fuerza media concéntrica aumentó un 2,5% [CI95%=-1,7 a 6,8], la potencia media concéntrica un 3,40% [CI95%=-2,20 a 9,10] y la potencia máxima un 2,5% [CI95%=-0,5 a 5,5]. Estos resultados de la fase concéntrica del salto fueron menores en comparación con los observados en investigaciones anteriores, en las que la fuerza concéntrica aumentó un 6,5 ± 6,4%, la fuerza máxima un 4,9 ± 9,6%¹⁸³ y la potencia máxima un 16,2 ± 8,3%¹⁸⁵. Estos mayores efectos sobre el rendimiento concéntrico pueden explicarse por la diferente dosis de cafeína administrada (3 frente a 5mg/kg), o por los diferentes antecedentes deportivos, aunque dosis que van de 2 a 6mg/kg de cafeína han mostrado efectos ergogénicos en la prueba de salto vertical en varones recreativamente activos¹⁹⁰. Se ha sugerido que los efectos ergogénicos observados están principalmente mediados por el SNC, ya que la cafeína afecta a las vías centrales y periféricas que inducirían la estimulación de las neuronas motoras, lo que daría lugar a una mayor liberación de Ca²⁺ del retículo sarcoplasmático²⁴⁰, lo que podría generar un mejor gradiente electroquímico que induciría una actividad contráctil del músculo efector más eficiente²⁴¹.

Sólo un estudio ha examinado los efectos de la cafeína en la fase excéntrica del CMJ y no mostró efectos beneficiosos sobre la fuerza máxima excéntrica o la RFD excéntrica¹⁸⁵. Igualmente, nuestros resultados no revelaron ninguna diferencia en la fuerza excéntrica media y máxima. Sin embargo, la fuerza media y la RFD durante la fase de frenado fueron mayores en la condición de cafeína. Del mismo modo, la ingesta de cafeína influyó en la producción de torque en ejercicios isocinéticos siendo sus efectos independientes del tipo de contracción¹⁷³. Por lo tanto, creemos que es necesario seguir investigando los efectos de la cafeína en la cinética de la fase excéntrica del salto por su implicación en el rendimiento del salto vertical²⁴².

Por otro lado, la estrategia de salto en la condición Cafeína fue diferente a la condición Placebo. En concreto, la duración de la fase de frenado se acortó en un 11,4% tras la ingesta de cafeína y se acompañó de un aumento del 4% en la fuerza excéntrica, que se tradujo en una mayor RFD de frenado. El aumento de la producción de fuerza en la fase excéntrica puede influir en la producción de fuerza en la fase concéntrica mediante una mayor amortización del ciclo estiramiento acortamiento²⁴². Una mayor velocidad en la fase excéntrica se traduce en un mayor impulso negativo que, puede llevar a mayo-

res producciones de fuerza y velocidad de la fase concéntrica²⁴². Nuestros datos también revelaron que 12 de los 14 participantes redujeron el tiempo total de contracción (no sólo una reducción en la fase de frenado) en la condición de cafeína sin presentar disminuciones en la producción de fuerza concéntrica y en la altura del salto. Por consiguiente, se observó un mayor RSI_{mod} en la condición de cafeína ($\Delta\% = 11,5$ [0,9 a 23,3]). En investigaciones anteriores no se observaron diferencias en la duración del salto tras el consumo de cafeína^{183,185}. Sin embargo, este menor tiempo de ejecución del salto parece ser efectivo para nuestros participantes, ya que el impulso concéntrico y la altura de salto aumentaron significativamente a pesar de los menores tiempos de contracción. Quizá estos menores tiempos de contracción puedan verse explicados por la disminución del cansancio percibido, la mejora del estado de ánimo y la mayor excitación energética, como resultado de los efectos de la cafeína en el sistema nervioso central¹⁶⁹.

6.1.3. EFECTOS DEL EJERCICIO PRIMING JUNTO CON LA INGESTA DE CAFEÍNA

Dados los potenciales beneficios observados por los ejercicios priming en el estudio 1 y los incrementos en el rendimiento en el salto vertical con la ingesta de cafeína en el estudio 2, en el estudio 3 tratamos de identificar si ambas estrategias precompetitivas podrían ser complementarias a la hora de incrementar el salto vertical en el momento de una hipotética competición. Sin embargo, los resultados obtenidos fueron contrarios a esta hipótesis. Al igual que en la condición de sólo priming, no se observaron aumentos generales a las 6h del ejercicio en ninguna de las variables de rendimiento del salto, su cinética o cinemática en la condición de PrimingCaf. De hecho, se observaron reducciones triviales en la altura del salto ($\Delta = -1,9\%$; $d = -0,10$) con pequeños aumentos en la duración concéntrica ($\Delta = 2,2\%$; $d = 0,21$) en comparación con los valores preejercicio. Esta ausencia de efectos ergogénicos es contraria a los beneficios observados previamente tras la ingesta de cafeína^{172,185,243}. Zbinden-Foncea *et al.*¹⁸⁵ observaron cambios positivos en la fuerza máxima concéntrica, la aceleración máxima, la potencia máxima y la velocidad máxima concéntrica del CMJ en jugadores de voleibol tras la ingesta de 5mg/kg de cafeína. Sin embargo, algunos estudios no revelaron efectos ergogénicos de la cafeína en forma de bebida energética sobre el rendimiento en CMJ y Squat Jump, así como en test anaeróbicos realizado en jugadoras de voleibol de élite²⁴⁴. En este sentido, se ha demostrado que la cafeína influye en la producción de fuerza a nivel central debido a un aumento del impulso neural de los músculos agonistas y al incremento de la actividad muscular voluntaria. Sin embargo, esto se ha demostrado con dosis superiores a las observadas en la presente investigación¹⁷³. Estos resultados sugieren que 3mg/kg pueden no ser suficientes para aumentar el rendimiento en actividades de salto vertical. Aunque se han propuesto diferentes mecanismos fisiológicos para aumentar el rendimiento en actividades de potencia tras el consumo de cafeína¹⁶⁹ y recientes evidencias han demostrado la eficacia de los ejercicios de priming previos a la competi-

ción^{26,72,74,76,88,91,232}, es necesario realizar más investigaciones para identificar si los ejercicios de priming y las estrategias nutricionales pueden ser complementarias para aumentar el rendimiento debido a los resultados negativos observados en el estudio 3. En base a nuestros resultados, y en contra de lo esperado, el consumo de 3mg/kg de cafeína no parece una estrategia útil si el objetivo es aumentar el rendimiento de salto vertical 6h después de un ejercicio priming de bajo volumen y alta carga.

6.2. EFECTOS DE LAS ESTRATEGIAS PRECOMPETITIVAS SOBRE LA PERCEPCIÓN SUBJETIVA DE ESTRÉS Y RECUPERACIÓN

En tres de los cuatro estudios de esta tesis doctoral monitorizamos la respuesta a lo largo del mismo día a través del cuestionario SRSS, que permite identificar la percepción de estrés y recuperación tras el ejercicio¹⁴⁹. En el primer estudio sólo encontramos un efecto principal del tiempo de evaluación sobre el AB sin observar ningún tipo de incremento tras las sesiones priming respecto al grupo control. Sin embargo, en los estudios 3 y 4 observamos un efecto positivo de los ejercicios priming sobre el estrés y recuperación percibidos. Ambas condiciones del estudio 3 (Priming y PrimingCaf) presentaron un efecto moderado sobre la PPC ($d=0,74 - 1,06$) y el AB ($d=0,61 - 0,83$). Sólo la condición PrimingCaf incrementó los valores de MPC por la tarde en comparación con la mañana ($d=0,53$). De forma similar, el ejercicio priming del estudio 4 reveló que el PPC y el AB se pueden incrementar significativamente con este tipo de ejercicio realizado durante la mañana (Figura 13). Además, los valores de PPC no sólo son mayores respecto a los valores indicados durante la mañana, sino que tienden a ser significativamente mayores respecto a la condición control ($\Delta[95\%CI] = +0,64$ puntos $[-0,22$ a $1,31]$; $p=0,057$). De acuerdo con nuestras observaciones, Harrison *et al.*²⁶ identificaron incrementos en el *physical feeling* medido a través de la escala visual analógica tras un protocolo priming usando ejercicios de fuerza con alta carga externa a las 8h de su realización (59, CI = 53-73, $p=0,052$), mientras que diferentes investigaciones han observado percepciones de “estados de forma” similares en el momento de la evaluación de la tarde entre el grupo que realizó el ejercicio priming y la condición control en atletas de resistencia^{87,89}. Los incrementos observados en la recuperación percibida y el mejor estado físico percibido pueden deberse a las modificaciones que presentan los ejercicios priming sobre los ritmos circadianos de la testosterona^{73,88,232}. Dado que los niveles de testosterona presentan efectos sobre el comportamiento, incluyendo el aumento de la agresividad²⁴⁵ y la motivación inconsciente²⁴⁶, y que está relacionada con los aumentos en la carga de trabajo autoseleccionada¹²⁹, es posible que la reducción en la caída circadiana de la testosterona observada tras las sesiones priming pueda explicar estos incrementos en el estado autopercebido ante el ejercicio. Además, los mayores efectos sobre la capacidad de rendimiento mental y el equilibrio de activación en la condición PrimingCaf están respaldados ya que dosis bajas de cafeína (1-4mg/kg) aumentan la

atención, la vigilancia y el tiempo de reacción¹⁶⁷, lo que puede explicar estas mejoras percibidas en los niveles de estrés y recuperación. En conjunto, parece que tanto la realización de ejercicios priming con alta carga, como su realización en combinación con la ingesta de 3mg/kg de cafeína, parecen ser dos alternativas eficaces para aumentar el estado psicológico de los deportistas a lo largo del mismo día.

6.3. RELACIÓN ENTRE LA FUERZA MUSCULAR Y LA RESPUESTA A LOS EJERCICIOS PRIMING

En las diferentes condiciones tanto del estudio 1 (OL y 80%RM) como del estudio 3 (Priming y PrimingCaf), observamos que existieron participantes que incrementaron o mantuvieron el rendimiento deportivo tras el uso de ejercicios priming, mientras que otros presentaron un efecto perjudicial en el rendimiento tras su implementación. Existen multitud de factores que pueden contribuir al rendimiento de los atletas, siendo algunos de ellos modificables y otros no modificables⁴⁸. Uno de los factores modificables con el entrenamiento es la fuerza dinámica máxima en la sentadilla²⁴⁷. Esta variable es de interés en los ejercicios priming ya que aquellos participantes con mayores niveles de fuerza generan más potencia mecánica externa durante el salto, saltan más alto²⁴⁸, son más rápidos esprintando²⁴⁹ y presentan un mayor PAPE con menores tiempos de recuperación^{68,72,82} que aquellos participantes con menores niveles de 1RM. Por ello, en el estudio 4 tratamos de identificar si los niveles basales de 1RM en sentadilla presentaron relación con la respuesta al ejercicio priming. Tal y como se hipotetizó, se observaron diferentes respuestas en las métricas de salto entre los participantes (Figura 11). La fuerza muscular absoluta (medida como 1RM en el ejercicio de media sentadilla), pero sorprendentemente no la fuerza relativa (1RM/BM), se relacionó positivamente con los cambios en la altura del salto, la velocidad pico concéntrica y el impulso concéntrico inmediatamente después del ejercicio de priming (es decir, menor reducción) y a las 6h (es decir, mayores incrementos) después del ejercicio de priming (Figura 12). También, el cambio en la altura de salto se relacionó con los cambios en la cinética y cinemática de la fase concéntrica, pero no excéntrica, del salto (Tabla 20).

Como se esperaba, la realización del ejercicio priming produjo una disminución inmediata de la altura de salto (-9,5%), del RSI_{mod} (-9,6%), de la potencia media concéntrica/BM (-6,7%) y de la velocidad máxima concéntrica (-3,8%). Mientras que a las seis horas en la condición Priming todas las variables de CMJ analizadas, incluyendo las métricas de rendimiento, de cinética y la estrategia de salto, fueron similares a la condición control sugiriendo una recuperación adecuada (Tabla 19). Nuestros resultados coinciden con investigaciones anteriores que han utilizado ejercicios priming monitorizados con la velocidad de ejecución, en los que la altura de salto se recuperó totalmente, o incluso aumentó a las 8h²⁶. Sin embargo, al examinar más detenidamente a nivel individual nues-

tros datos, observamos que sólo cuatro de los 14 participantes de este estudio aumentaron la altura CMJ a las 6h, mientras que cuatro mostraron una disminución. El resto presentaron cambios en la altura menores al SWC. Los participantes que mejoraron la altura del CMJ fueron aquellos que presentaron los mayores 1RM en media sentadilla (>140kg) (Figura 12). Sin embargo, de forma sorprendente, este efecto no se extendió a la fuerza dinámica máxima relativa al peso corporal ($r=0,21$; $p=0,240$). Investigaciones previas han demostrado que participantes con un 1RM en sentadilla superior a dos veces su peso corporal permite a los atletas potenciar en mayor medida y con más rapidez el rendimiento en salto tras actividades balísticas y no balísticas, además de presentar una relación significativa entre el incremento máximo generado en el salto tras la actividad condicional y los niveles de fuerza en sentadilla²⁵⁰. Teniendo en cuenta la influencia de los valores de fuerza dinámica máxima en la potenciación del rendimiento, Nishioka *et al.*⁷² observaron que los participantes con una fuerza relativa en media sentadilla superior a 2,22kg/BM (1RM= -162Kg) aumentaron la RFD excéntrica, la velocidad media excéntrica, la potencia media excéntrica, la fuerza media concéntrica, la velocidad media concéntrica y la potencia media concéntrica, lo que se tradujo en una mayor altura de salto a las 24 post el ejercicio priming. Sin embargo, estos aumentos no se observaron en los participantes más “débiles” (1RM/BM=1,76Kg/BM, 1RM absoluto=122Kg) que no mostraron ninguna mejora en el rendimiento del salto a las 24 horas. En nuestro estudio 4, la 1RM/BM en media sentadilla fue de $1,65 \pm 0,21$ Kg/BM (rango=1,27-1,99Kg/BM), que es menor que la del “grupo más débil” reportado por Nishioka *et al.*⁷². Por lo tanto, esta puede ser una posible razón por la que no observamos un incremento general en las métricas del salto vertical a las seis horas. También se ha sugerido que el mecanismo responsable de la mejora del rendimiento del CMJ tras el ejercicio de priming puede atribuirse, al menos en parte, a una mayor velocidad durante la fase excéntrica del salto, que se traduce en un mayor impulso negativo que puede utilizarse para aumentar la cinética y la cinemática de la fase concéntrica^{72,242}. Sin embargo, nuestros resultados muestran que la velocidad excéntrica no se relacionó con el cambio en la altura del salto, sino que sólo se relacionó con los cambios en las variables de la fase concéntrica (Tabla 20). Por lo tanto, sugerimos que en futuras investigaciones se busque identificar los mecanismos específicos implicados en el cambio en el rendimiento del salto tras el ejercicio de priming.

Por otro lado, el análisis de relación del estudio 4 reveló que los cambios en la altura de salto, la velocidad pico concéntrica y el impulso concéntrico en los diferentes puntos temporales evaluados (post y 6h) se correlacionaron significativamente con la 1RM de sentadilla de los participantes (Figura 12). Además, el modelo de regresión lineal explicó el 23% de la varianza en el cambio en la altura del CMJ, la velocidad pico concéntrica y el impulso concéntrico en el momento post (Figura 12, panel A), mientras que a las seis horas explicó del 25 al 26% de la varianza en esas métricas (Figura 12, panel B). En este sentido, los niveles de fuerza muscular pueden influir en la respuesta aguda al entrenamiento de resistencia debido a la capacidad de los participantes más fuertes de mostrar

una mayor resistencia a la fatiga como resultado de la adaptación crónica al entrenamiento⁴⁸. De hecho, los participantes más fuertes muestran menores niveles de fatiga en respuesta a un determinado estímulo, así como una mayor y más temprana mejora de la potenciación. En general, estos resultados sugieren que existe una relación entre la fuerza dinámica máxima de las extremidades inferiores y la respuesta al ejercicio de priming y que aquellos participantes con mayores niveles de fuerza muscular tendrán una mayor resistencia a la fatiga^{68,72} y, por tanto, es más probable que se beneficien de un ejercicio de priming realizado 6h antes. Sin embargo, en este momento no tenemos claro por qué la fuerza relativa no mostró la misma relación, ya que esta variable es la que ha demostrado discriminar de mejor manera la respuesta ante los estímulos condicionales que buscan una potenciación del rendimiento muscular⁷². Quizá no haber tenido en cuenta las posibles diferencias en los años de experiencia de entrenamiento de fuerza, el tipo de entrenamiento en el que se han especializado y/o la frecuencia de entrenamiento o incluso el tipo de fibras y los factores genéticos pueden haber condicionado los resultados. Por lo tanto, es posible que futuros estudios puedan analizar los efectos de la fuerza relativa en grupos demográficos similares (por ejemplo, atletas de deportes de fuerza) en los que las posibles diferencias en los historiales de entrenamiento son más uniformes.

7. LIMITACIONES

El estudio 1 tiene algunas limitaciones que deben abordarse en futuras investigaciones. En primer lugar, la falta de variables neurofisiológicas y hormonales limita la comprensión de los efectos de mejora del rendimiento observados. En segundo lugar, sólo se investigó un único momento temporal, lo que limita la comprensión de la evolución de la recuperación y la potenciación en diferentes momentos tras la finalización del ejercicio priming. Además, los participantes realizaron un número diferente de repeticiones debido a la naturaleza del entrenamiento basado en la pérdida de velocidad, lo que dificulta la identificación del efecto de la carga, ya que las dos intervenciones no tienen el mismo volumen de entrenamiento.

El estudio 2 presenta diferentes limitaciones que deben tenerse en cuenta a la hora de interpretar los resultados: (i) desde un punto de vista de la práctica diaria, no podemos concluir categóricamente que los cambios observados fueron producidos únicamente por la ingesta de cafeína, ya que el mínimo cambio detectable calculado para las variables de los saltos tanto unilaterales como bilaterales es mayor que cualquiera de las diferencias medias observadas. (ii) La fiabilidad relativa y absoluta observada para el salto bilateral en nuestros participantes fue menor que la observada previamente en jugadores de baloncesto de la División 1 de la NCAA²⁰⁷, lo que sugiere que el CMJ no es tan sensible a los cambios en participantes con menos experiencia en el salto vertical. (iii) La profundidad del contramovimiento durante el salto fue autoseleccionada por los participantes, lo que puede aumentar la variabilidad intraindividual debido a las diferencias en la ejecución del salto. (iv) Este estudio sólo se llevó a cabo con atletas de jiu-jitsu tradicional de alto nivel y los resultados pueden no ser transferidos a diferentes poblaciones deportivas, a atletas de menor nivel o a la población general.

El estudio 3 presenta una serie de limitaciones que podrían abordarse en el futuro: (i) del mismo modo que ocurre en el estudio 1, la falta de evaluación hormonal o neurofisiológica limita el conocimiento de los cambios producidos tras el ejercicio priming. Esto no nos permite identificar si los efectos positivos y/o negativos de estas sesiones de entrenamiento provienen por cambios endocrinos, en la capacidad de transmisión del impulso nervioso o en el proceso de contracción muscular. (ii) Igualmente, sólo se han evaluado los efectos del ejercicio de priming y su combinación con cafeína sobre un marcador específico de rendimiento (es decir, el CMJ). Por lo tanto, se desconoce si los ejercicios priming y su combinación con cafeína pueden ser útiles en otros tipos de disciplinas ya sean de carácter aeróbico, deportes de equipo, etc. (iii) Al tratarse de una investigación de evolución de la fatiga y el rendimiento a lo largo del tiempo, los participantes no sólo realizaron el ejercicio de priming durante la mañana. Cada participante realizó nueve CMJ a lo largo del día, lo que puede haber influido en la capacidad de salto

en las evaluaciones posteriores. Por lo tanto, sugerimos que en futuras investigaciones se evalúe un único punto de tiempo para limitar los efectos de fatiga en las evaluaciones tal y como realizamos en el estudio 4.

Reconocemos que existen varias limitaciones en el estudio 4 que justifican una mayor consideración en futuras investigaciones y que ya han sido identificadas en los estudios 1 y 3. En primer lugar, el presente estudio no realizó ninguna evaluación hormonal ni neurofisiológica y, por lo tanto, nos impide identificar si estas vías contribuyen a los cambios en la potenciación del rendimiento. En segundo lugar, sólo medimos los efectos del priming en una tarea de rendimiento, el CMJ. Por lo tanto, no podemos determinar si un ejercicio de priming basado en sentadillas puede ser útil para otros movimientos o tareas de fuerza con una orientación del vector de fuerza diferente, si transfiere al rendimiento en sprints, cambios de dirección o lanzamientos, o incluso si incrementa el rendimiento de tareas de carácter aeróbico. Por último, los resultados de este estudio se obtienen de participantes con “cierta” experiencia en el entrenamiento de fuerza. Sin embargo, es necesario identificar si estas respuestas son similares en otras poblaciones deportivas, dado el efecto que parece tener la fuerza muscular en respuesta a los ejercicios priming y la potenciación tardía del rendimiento.

8. CONCLUSIONES

8.1. ESTUDIO 1

Un ejercicio priming de bajo volumen, con el 80% RM, parece ser un estímulo adecuado para mejorar el rendimiento del CMJ, la velocidad media y la potencia con cargas elevadas sin afectar la percepción del estrés y la recuperación de los participantes. Sin embargo, se observaron diferentes respuestas individuales tras las distintas sesiones de priming existiendo participantes que pueden beneficiarse de su implementación. El uso del OL como estrategia priming no parece presentar efectos beneficiosos sobre las variables de rendimiento analizadas tras seis horas desde la finalización del ejercicio.

8.2. ESTUDIO 2

La ingesta de cafeína incrementa la altura del salto bilateral y unilateral con unos menores tiempos de ejecución del salto. La presente investigación demuestra que la cafeína aumenta la producción de fuerza en la fase excéntrica y concéntrica del salto bilateral, lo que se traduce en saltos más altos. La fuerza en la fase excéntrica de saltos unilaterales no se incrementó, sin embargo, el tiempo de vuelo y el RSImod sí se vieron incrementados, sugiriendo una reducción en los tiempos de ejecución de salto.

8.3. ESTUDIO 3

La capacidad de salto tras ambos ejercicios priming con alta carga y bajo volumen se recuperó por completo a las 2h sin apreciarse incrementos en el rendimiento, a nivel grupal, a las seis horas. Sin embargo, ambos ejercicios priming modificaron la percepción de estrés y recuperación a las seis horas después del final del entrenamiento matutino. La ingesta de 3mg/kg de cafeína no aumentó el rendimiento del salto vertical, pero sí mejoró la percepción de la capacidad física y mental, así como el nivel del balance de activación autopercebido.

8.4. ESTUDIO 4

Un ejercicio priming con alta carga externa, bajo volumen y controlando la fatiga con la velocidad de ejecución no aumentó el rendimiento en el CMJ a nivel general, pero sí mejoró los niveles de estrés y recuperación percibidos a las seis horas tras su finaliza-

ción. El análisis de respuestas individuales reveló que 10 de 14 participantes mostraron un efecto positivo o, al menos, una recuperación completa del rendimiento deportivo. Existe una relación entre el cambio en la altura de salto, la velocidad concéntrica y el impulso con la fuerza muscular absoluta, pero no con la relativa.

9. CONFLICTO DE INTERESES

La realización de las investigaciones se llevó a cabo sin ningún tipo de apoyo por parte de empresas deportivas. Las investigaciones de esta Tesis Doctoral se realizaron sin ningún tipo de financiación económica. No existen relaciones personales o comerciales que puedan haber influido en el trabajo presentado.

10. REFERENCIAS

1. Bompa TO, Haff GG. *Periodization: Theory and Methodology of Training*. 6th ed. Human Kinetics; 2009.
2. Enoka RM, Duchateau J. Translating Fatigue to Human Performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48(11):2228-2238. doi:10.1249/MSS.0000000000000929
3. Kellmann M, Bertollo M, Bosquet L, et al. Recovery and performance in sport: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2018;13(2):240-245. doi:10.1123/ijsp.2017-0759
4. Stellingwerff T, Morton JP, Burke LM. A Framework for Periodized Nutrition for Athletics. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2019;29(2):141-151. doi:10.1123/IJSNEM.2018-0305
5. Blumenstein B, Orbach I. Periodization of psychological preparation within the training process. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2018.1478872>. 2018;18(1):13-23. doi:10.1080/1612197X.2018.1478872
6. Kreher JB, Schwartz JB. Overtraining Syndrome: A Practical Guide. *Sports Health*. 2012;4(2):128. doi:10.1177/1941738111434406
7. Hedelin R, Kentta G, Wiklund U, Bjerle P, Henriksson-Larsen K. Short-term overtraining: effects on performance, circulatory responses, and heart rate variability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2000;32(8):1480-1484. doi:10.1097/00005768-200008000-00017
8. Brickley G, Doust J, Williams CA. Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. *European Journal of Applied Physiology* 2002 88:1. 2002;88(1):146-151. doi:10.1007/S00421-002-0706-1
9. Foster C, Green MA, Snyder AC, Thompson NN. Physiological responses during simulated competition. *Med Sci Sports Exerc*. 1993;25(7):877-882. doi:10.1249/00005768-199307000-00018
10. Harris NK, Dulson DK, Logan GRM, Warbrick IB, Merien FLR, Lubans DR. Acute responses to resistance and high-intensity interval training in early adolescents. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2017;31(5):1177-1186. doi:10.1519/JSC.0000000000001590
11. Izquierdo M, Ibañez J, Calbet JAL, et al. Neuromuscular fatigue after resistance training. *Int J Sports Med*. 2009;30(8):614-623. doi:10.1055/S-0029-1214379
12. Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Aagaard P, et al. Time Course of Recovery From Resistance Exercise With Different Set Configurations. *Journal of Strength and Conditioning Research*. Published online July 2018:1. doi:10.1519/jsc.0000000000002756

13. Esfarjani F, Laursen PB. Manipulating high-intensity interval training: Effects on $\dot{V}O_2\text{max}$, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2007;10(1):27-35. doi:10.1016/J.JSAMS.2006.05.014
14. Miranda F, Simão R, Rhea M, et al. Effects of linear vs. daily undulatory periodized resistance training on maximal and submaximal strength gains. *J Strength Cond Res*. 2011;25(7):1824-1830. doi:10.1519/JSC.OB013E3181E7FF75
15. Selye H. Stress and the general adaptation syndrome. *British Medical Journal*. Published online 1950:1383-1392.
16. Aguiar S da S, Sousa CV, Simões HG, et al. Acute metabolic responses following different resistance exercise protocols. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*. 2018;43(8):838-843. doi:10.1139/APNM-2017-0771
17. Lacerda LT, Martins-Costa HC, Diniz RCR, et al. Variations in Repetition Duration and Repetition Numbers Influence Muscular Activation and Blood Lactate Response in Protocols Equalized by Time Under Tension. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2016;30(1):251-258. doi:10.1519/JSC.0000000000001044
18. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med*. 2005;35(4):339-361. doi:10.2165/00007256-200535040-00004
19. Mayo JJ, Kravitz L. A Review of the Acute Cardiovascular Responses to Resistance Exercise of Healthy young and Older Adults. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 1999;13(1):90-96. Accessed January 11, 2022. https://journals.lww.com/nsca-jscr/abstract/1999/02000/a_review_of_the_acute_cardiovascular_responses_to.16.aspx
20. Benson C, Docherty D, Brandenburg J. Acute neuromuscular responses to resistance training performed at different loads. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2006;9(1-2):135-142. doi:10.1016/J.JSAMS.2005.07.001
21. McCaulley GO, McBride JM, Cormie P, et al. Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 2009;105(5):695-704. doi:10.1007/S00421-008-0951-Z/TABLES/3
22. Bodine SC. mTOR signaling and the molecular adaptation to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38(11):1950-1957. doi:10.1249/01.MSS.0000233797.24035.35
23. Bloom SR, Johnson RH, Park DM, Rennie MJ, Sulaiman WR. Differences in the metabolic and hormonal response to exercise between racing cyclists and untrained individuals. *The Journal of Physiology*. 1976;258(1):1-18. doi:10.1113/JPHYSIOL.1976.SP011403

24. Greiwe JS, Hickner RC, Shah SD, Cryer PE, Holloszy JO. Norepinephrine response to exercise at the same relative intensity before and after endurance exercise training. *Journal of Applied Physiology*. 1999;86(2):531-535. doi:10.1152/JAPPL.1999.86.2.531/ASSET/IMAGES/LARGE/JAPP05225003X.JPEG
25. Morán-Navarro R, Pérez CE, Mora-Rodríguez R, et al. Time course of recovery following resistance training leading or not to failure. *European Journal of Applied Physiology*. 2017;117(12):2387-2399. doi:10.1007/s00421-017-3725-7
26. Harrison PW, James LP, Jenkins DG, McGuigan MR, Schuster RW, Kelly VG. Time Course of Neuromuscular, Hormonal, and Perceptual Responses Following Moderate- and High-Load Resistance Priming Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. Published online March 23, 2021:1-11. doi:10.1123/ijsp.2020-0646
27. Latella C, Hendy AM, Pearce AJ, VanderWesthuizen D, Teo WP. The time-course of acute changes in corticospinal excitability, intra-cortical inhibition and facilitation following a single-session heavy strength training of the biceps brachii. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2016;10(DEC2016). doi:10.3389/fnhum.2016.00607
28. Taylor JL, Amann M, Duchateau J, Meeusen R, Rice CL. Neural Contributions to Muscle Fatigue: From the Brain to the Muscle and Back Again. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2016;48(11):2294-2306. doi:10.1249/MSS.0000000000000923
29. Gathercole R, Sporer B, Stellingwerff T, Sleivert G. Alternative countermovement-jump analysis to quantify acute neuromuscular fatigue. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2015;10(1):84-92. doi:10.1123/ijsp.2013-0413
30. Sánchez-Medina L, González-Badillo JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2011;43(9):1725-1734. doi:10.1249/MSS.0b013e318213f880
31. McKenna MJ, Bangsbo J, Renaud JM. Muscle K⁺, Na⁺, and Cl⁻ disturbances and Na⁺-K⁺ pump inactivation: Implications for fatigue. *Journal of Applied Physiology*. 2008;104(1):288-295. doi:10.1152/jappphysiol.01037.2007
32. Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev*. 2001;81(4):1725-1789. doi:10.1152/PHYSREV.2001.81.4.1725
33. Twomey R, Aboodarda SJ, Kruger R, Culos-Reed SN, Temesi J, Millet GY. Neuromuscular fatigue during exercise: Methodological considerations, etiology and potential role in chronic fatigue. *Neurophysiologie Clinique/ Clinical Neurophysiology*. 2017;47(2):95-110. doi:10.1016/J.NEUCLI.2017.03.002
34. Thomas K, Brownstein CG, Dent J, Parker P, Goodall S, Howatson G. Neuromuscular Fatigue and Recovery after Heavy Resistance, Jump, and Sprint Training. *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50(12):2526-2535. doi:10.1249/MSS.0000000000001733

35. Fitts RH. Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiol Rev.* 1994;74(1):49-94. doi:10.1152/PHYSREV.1994.74.1.49
36. Vøllestad NK. Measurement of human muscle fatigue. *J Neurosci Methods.* 1997;74(2):219-227. doi:10.1016/S0165-0270(97)02251-6
37. Collison JA, Moran J, Zijdwind I, Hettinga FJ. Muscle Fatigability After Hex-Bar Deadlift Exercise Performed With Fast or Slow Tempo. *Int J Sports Physiol Perform.* 2021;16(1):117-123. doi:10.1123/IJSP.2019-0599
38. Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, González-Badillo JJ. Time course of recovery from resistance exercise before and after a training program. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness.* 2019;59(9):1458-1465. doi:10.23736/S0022-4707.19.09334-4
39. Halson SL. Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine (Auckland, N.z).* 2014;44(Suppl 2):139. doi:10.1007/S40279-014-0253-Z
40. Latella C, Teo WP, Harris D, Major B, VanderWesthuizen D, Hendy AM. Effects of acute resistance training modality on corticospinal excitability, intra-cortical and neuromuscular responses. *European Journal of Applied Physiology.* 2017;117(11):2211-2224. doi:10.1007/s00421-017-3709-7
41. Bigland Ritchie B, Jones DA, Hosking GP, Edwards RHT. Central and peripheral fatigue in sustained maximum voluntary contractions of human quadriceps muscle. *Clin Sci Mol Med.* 1978;54(6):609-614. doi:10.1042/CS0540609
42. Kent-Braun JA, Fitts RH, Christie A. Skeletal muscle fatigue. *Compr Physiol.* 2012;2(2):997-1044. doi:10.1002/CPHY.C110029
43. Fitts RH, Balog EM. Effect of intracellular and extracellular ion changes on E-C coupling and skeletal muscle fatigue. *Acta Physiol Scand.* 1996;156(3):169-181. doi:10.1046/J.1365-201X.1996.191000.X
44. Wallmann HW. Muscle Fatigue. In: *Sports-Specific Rehabilitation.* Churchill Livingstone; 2007:87-95. doi:10.1016/B978-044306642-9.50008-3
45. Noakes TD. Time to move beyond a brainless exercise physiology: the evidence for complex regulation of human exercise performance. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme.* 2011;36(1):23-35. doi:10.1139/H10-082
46. Ansley L, Schabort E, st. Clair Gibson A, Lambert MI, Noakes TD. Regulation of pacing strategies during successive 4-km time trials. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(10):1819-1825. doi:10.1249/01.MSS.0000142409.70181.9D
47. Wan JJ, Qin Z, Wang PY, Sun Y, Liu X. Muscle fatigue: general understanding and treatment. *Exp Mol Med.* 2017;49(10). doi:10.1038/EMM.2017.194
48. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Medicine.* 2016;46(10):1419-1449. doi:10.1007/s40279-016-0486-0

49. Harris NK, Cronin JB, Hopkins WG, Hansen KT. Relationship between sprint times and the strength/power outputs of a machine squat jump. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association.* 2008;22(3):691-698. doi:10.1519/JSC.Ob013e31816d8d80
50. Shimokochi Y, Ide D, Kokubu M, Nakaoji T. Relationships Among Performance of Lateral Cutting Maneuver From Lateral Sliding and Hip Extension and Abduction Motions, Ground Reaction Force, and Body Center of Mass Height. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2013;27(7):1851-1860. doi:10.1519/JSC.Ob013e3182764945
51. Seitz LB, Reyes A, Tran TT, de Villarreal ES, Haff GG. Increases in Lower-Body Strength Transfer Positively to Sprint Performance: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine.* 2014;44(12):1693-1702. doi:10.1007/s40279-014-0227-1
52. Soriano MA, Haff GG, Comfort P, et al. Is there a relationship between the overhead press and split jerk maximum performance? Influence of sex. *International Journal of Sports Science and Coaching.* 2022;17(1):143-150. doi:10.1177/17479541211020452
53. Lucero RAJ, Fry AC, LeRoux CD, Hermes MJ. Relationships between barbell squat strength and weightlifting performance: <https://doi.org/10.1177/1747954119837688>. 2019;14(4):562-568. doi:10.1177/1747954119837688
54. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 2 training considerations for improving maximal power production. *Sports Medicine.* 2011;41(2):125-146. doi:10.2165/11538500-000000000-00000
55. Cormie P, McBride JM, McCaulley GO. Power-Time, Force-Time, and Velocity-Time Curve Analysis of the Countermovement Jump: Impact of Training. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2009;23(1):177-186. doi:10.1519/JSC.Ob013e3181889324
56. González-García J, Morencos E, Balsalobre-Fernández C, Cuéllar-Rayó Á, Romero-Moraleda B. Effects of 7-Week Hip Thrust Versus Back Squat Resistance Training on Performance in Adolescent Female Soccer Players. *Sports.* 2019;7(4):80. doi:10.3390/sports7040080
57. de Hoyo M, Gonzalo-Skok O, Sañudo B, et al. Comparative Effects of In-Season Full-Back Squat, Resisted Sprint Training, and Plyometric Training on Explosive Performance in U-19 Elite Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2016;30(2):368-377. doi:10.1519/JSC.0000000000001094
58. Deschenes MR, Kraemer WJ. Performance and physiologic adaptations to resistance training. *Am J Phys Med Rehabil.* 2002;81(11 Suppl):S3-16. doi:10.1097/01.PHM.0000029722.06777.E9

59. Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Chronic Adaptations to Eccentric Training: A Systematic Review. *Sports Medicine*. Published online 2016. doi:10.1007/s40279-016-0628-4
60. Folland JP, Williams AG. The adaptations to strength training: Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*. 2007;37(2):145-168. doi:10.2165/00007256-200737020-00004
61. dello Iacono A, Martone D, Milic M, Padulo J. Vertical- vs. Horizontal-Oriented Drop Jump Training: Chronic Effects on Explosive Performances of Elite Handball Players. *J Strength Cond Res*. 2017;31(4):921-931. doi:10.1519/JSC.0000000000001555
62. Arazi H, Asadi A, Aziri H, et al. Effects of 8 Weeks Equal-Volume Resistance Training with Different Workout Frequency on Maximal Strength, Endurance and Body Composition. *International Journal of Sports Science and Engineering*. 2011;05(02):112-118.
63. de Hoyo M, Sañudo B, Carrasco L, et al. Effects of 10-week eccentric overload training on kinetic parameters during change of direction in football players. *J Sports Sci*. 2016;34(14):1380-1387. doi:10.1080/02640414.2016.1157624
64. Contreras B, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ, et al. Effects of a Six-Week Hip Thrust vs. Front Squat Resistance Training Program on Performance in Adolescent Males: A Randomized Controlled Trial. *J Strength Cond Res*. 2017;31(4):999-1008. doi:10.1519/JSC.0000000000001510
65. Loturco I, Nakamura FY, Kobal R, et al. Traditional Periodization versus Optimum Training Load Applied to Soccer Players: Effects on Neuromuscular Abilities. *International Journal of Sports Medicine*. 2016;37(13):1051-1059. doi:10.1055/s-0042-107249
66. Suchomel TJ, Lamont HS, Moir GL. Understanding Vertical Jump Potentiation: A Deterministic Model. *Sports Medicine*. 2016;46(6):809-828. doi:10.1007/s40279-015-0466-9
67. Tipton A, Franchini E. Postactivation potentiation in elite young soccer players. *J Exerc Rehabil*. 2017;13(2):153-159. doi:10.12965/jer.1734912.456
68. Seitz LB, Villarreal ESD, Haff GG. The temporal profile of postactivation potentiation is related to strength level. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2014;28(3). doi:10.1519/JSC.0b013e3182a73ea3
69. Suchomel TJ, Sato K, Deweese BH, Ebben WP, Stone MH. Potentiation Effects of Half-Squats Performed in a Ballistic or Nonballistic Manner. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2016;30(6):1652-1660. doi:10.1519/JSC.0000000000001251
70. Tsoukos A, Brown LE, Terzis G, Veligekas P, Bogdanis GC. Potentiation of Bench Press Throw Performance Using a Heavy Load and Velocity-Based Repetition Control. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2020;Publish Ah.

71. Tsoukos A, Brown LE, Veligekas P, Terzis G, Bogdanis GC. Postactivation potentiation of bench press throw performance using velocity-based conditioning protocols with low and moderate loads. *Journal of Human Kinetics*. 2019;68(1):81-98. doi:10.2478/hukin-2019-0058
72. Nishioka T, Okada J. Influence of Strength Level on Performance Enhancement Using Resistance Priming. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2021;Publish Ah. doi:10.1519/JSC.0000000000004169
73. Russell M, King A, Bracken RM, Cook CJ, Giroud T, Kilduff LP. A comparison of different modes of morning priming exercise on afternoon performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2016;11(6):763-767. doi:10.1123/ijsp.2015-0508
74. Harrison PW, James LP, McGuigan MR, Jenkins DG, Kelly VG. Resistance Priming to Enhance Neuromuscular Performance in Sport: Evidence, Potential Mechanisms and Directions for Future Research. *Sports Medicine*. 2019;49(10):1499-1514. doi:10.1007/s40279-019-01136-3
75. Mason BRJ, Argus CK, Norcott B, Ball NB. Resistance Training Priming Activity Improves Upper-Body Power Output in Rugby Players: Implications for Game Day Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2017;31(4):913-920. doi:10.1519/JSC.0000000000001552
76. Mason B, McKune A, Pumpa K, Ball N. The Use of Acute Exercise Interventions as Game Day Priming Strategies to Improve Physical Performance and Athlete Readiness in Team-Sport Athletes: A Systematic Review. *Sports Medicine*. Published online August 10, 2020:1-20. doi:10.1007/s40279-020-01329-1
77. Prieske O, Behrens M, Chaabene H, Granacher U, Maffiuletti NA. Time to Differentiate Postactivation "Potentiation" from "Performance Enhancement" in the Strength and Conditioning Community. *Sports Medicine*. 2020;50(9). doi:10.1007/s40279-020-01300-0
78. Pérez-Castilla A, Rojas FJ, Gómez-Martínez F, García-Ramos A. Vertical jump performance is affected by the velocity and depth of the countermovement. *Sports Biomechanics*. 2021;20(8). doi:10.1080/14763141.2019.1641545
79. MacIntosh BR, Bryan SN. Potentiation of shortening and velocity of shortening during repeated isotonic tetanic contractions in mammalian skeletal muscle. *Pflugers Archiv European Journal of Physiology*. 2002;443(5-6). doi:10.1007/s00424-001-0746-0
80. Sleivert G, Taingahue M. The relationship between maximal jump-squat power and sprint acceleration in athletes. *European Journal of Applied Physiology*. 2004;91(1):46-52. doi:10.1007/s00421-003-0941-0
81. Rassier DE, MacIntosh BR. Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 2000;33(5). doi:10.1590/S0100-879X2000000500003

82. Seitz LB, Haff GG. Factors Modulating Post-Activation Potentiation of Jump, Sprint, Throw, and Upper-Body Ballistic Performances: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2016;46(2). doi:10.1007/s40279-015-0415-7
83. Blazevich AJ, Babault N. Post-activation Potentiation Versus Post-activation Performance Enhancement in Humans: Historical Perspective, Underlying Mechanisms, and Current Issues. *Frontiers in Physiology*. 2019;10:1359. doi:10.3389/fphys.2019.01359
84. Dobbs WC, Tolusso D v., Fedewa M v., Esco MR. Effect of Postactivation Potentiation on Explosive Vertical Jump: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2019;33(7):2009-2018. doi:10.1519/JSC.0000000000002750
85. Beato M, McErlain-Naylor SA, Halperin I, Iacono A dello. Current evidence and practical applications of flywheel eccentric overload exercises as postactivation potentiation protocols: A brief review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2020;15(2). doi:10.1123/ijsp.2019-0476
86. Tillin N, Bishop DJ. Factors Modulating Post-Activation Potentiation and its effects on performance. *Sports Medicine*. 2009;39(2):147-166.
87. Rud B, Øygaard E, Dahl EB, Paulsen G, Losnegard T. The Effect of Resistance Exercise Priming in the Morning on Afternoon Sprint Cross-Country Skiing Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. Published online 2021:1-8. doi:10.1123/ijsp.2020-0881
88. Cook CJ, Kilduff LP, Crewther BT, Beaven M, West DJ. Morning based strength training improves afternoon physical performance in rugby union players. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2014;17(3):317-321. doi:10.1016/j.jsams.2013.04.016
89. Dahl EB, Øygaard E, Paulsen G, Rud B, Losnegard T. Morning Preconditioning Exercise Does Not Increase Afternoon Performance in Competitive Runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2021;1(aop):1-8. doi:10.1123/ijsp.2020-0747
90. Nutt F, Hills SP, Russell M, et al. Morning resistance exercise and cricket-specific repeated sprinting each improve indices of afternoon physical and cognitive performance in professional male cricketers. Published online 2021. doi:10.1016/j.jsams.2021.08.017
91. Tsoukas A, Veligekas P, Brown LE, Terzis G, Bogdanis GC. Delayed effects of a low-volume, power-type resistance exercise session on explosive performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2018;32(3):643-650. doi:10.1519/jsc.0000000000001812
92. Ekstrand LG, Battaglini CL, McMurray RG, Shields EW. Assessing explosive power production using the backward overhead shot throw and the effects of morning resistance exercise on afternoon performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2013;27(1). doi:10.1519/JSC.0b013e3182510886

93. McGowan CJ, Pyne DB, Thompson KG, Raglin JS, Rattray B. Morning exercise: Enhancement of afternoon sprint-swimming performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2017;12(5):605-611. doi:10.1123/ijsp.2016-0276
94. Fry A, Stone M, Thrus J, Fleck S. Precompetition training sessions enhance competitive performance of high anxiety junior weightlifters. *J Strength Cond Res*. 1995;9(1):37-42.
95. Saez Saez de Villarreal E, González-Badillo JJ, Izquierdo M. Optimal warm-up stimuli of muscle activation to enhance short and long-term acute jumping performance. *European Journal of Applied Physiology*. 2007;100(4):393-401. doi:10.1007/s00421-007-0440-9
96. Harrison PW, James LP, McGuigan MR, Jenkins DG, Kelly VG. Prevalence and application of priming exercise in high performance sport. *Journal of Science and Medicine in Sport*. Published online September 2019. doi:10.1016/j.jsams.2019.09.010
97. Latella C, Teo WP, Major B. Effects of acute resistance training modality on corticospinal excitability, intra-cortical and neuromuscular responses Fatigue and recovery following applied resistance training protocols View project Classroom-based active breaks for cognitive enhancement View project. *European Journal of Applied Physiology*. Published online 2017. doi:10.1007/s00421-017-3709-7
98. Raastad T, Hallén J. Recovery of skeletal muscle contractility after high- and moderate-intensity strength exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 2000;82(3):206-214. doi:10.1007/s004210050673
99. Pareja-Blanco F, Villalba-Fernández A, Cornejo-Daza PJ, Sánchez-Valdepeñas J, González-Badillo JJ. Time course of recovery following resistance exercise with different loading magnitudes and velocity loss in the set. *Sports*. 2019;7(3). doi:10.3390/sports7030059
100. Izquierdo M, Ibañez J, Calbet JAL, et al. Neuromuscular fatigue after resistance training. *Int J Sports Med*. 2009;30(8):614-623. doi:10.1055/S-0029-1214379
101. Linnamo V, Häkkinen K, Komi P v. Neuromuscular fatigue and recovery in maximal compared to explosive strength loading. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1998;77(1-2):176-181. doi:10.1007/s004210050317
102. Evans JW. Periodized resistance training for enhancing skeletal muscle hypertrophy and strength: A mini-review. *Frontiers in Physiology*. 2019;10(JAN). doi:10.3389/fphys.2019.00013
103. Tillin NA, Folland JP. Maximal and explosive strength training elicit distinct neuromuscular adaptations, specific to the training stimulus. *European Journal of Applied Physiology*. 2014;114(2):365-374. doi:10.1007/s00421-013-2781-x

104. Balsalobre-Fernández C, Tejero-Gonzalez CM, del Campo-Vecino J, Alonso-Curiel D. The effects of a maximal power training cycle on the strength, maximum power, vertical jump height and acceleration of high-level 400-meter hurdlers. *Journal of Human Kinetics*. 2013;36(March):119-126. doi:10.2478/hukin-2013-0012
105. Aagaard P. Training-induced changes in neural function. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2003;31(2):61-67. doi:10.1097/00003677-200304000-00002
106. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*. 2002;93(4):1318-1326. doi:10.1152/jappphysiol.00283.2002
107. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson SP, Halkjaer-Kristensen J, Dyhre-Poulsen P. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *J Appl Physiol (1985)*. 2000;89(6):2249-2257. doi:10.1097/00005768-199805001-01178
108. Izquierdo M, González-Izal M, Navarro-Amezqueta I, et al. Effects of strength training on muscle fatigue mapping from surface EMG and blood metabolites. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2011;43(2):303-311. doi:10.1249/MSS.0B013E3181EDFA96
109. Siddique U, Rahman S, Frazer AK, Pearce AJ, Howatson G, Kidgell DJ. Determining the Sites of Neural Adaptations to Resistance Training: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med*. 2020;50(6):1107-1128. doi:10.1007/S40279-020-01258-Z
110. di Lazzaro V, Oliviero A, Pilato F, et al. The physiological basis of transcranial motor cortex stimulation in conscious humans. *Clin Neurophysiol*. 2004;115(2):255-266. doi:10.1016/J.CLINPH.2003.10.009
111. Latella C, Hendy A, Vanderwesthuizen D, Teo WP. The modulation of corticospinal excitability and inhibition following acute resistance exercise in males and females. *Eur J Sport Sci*. 2018;18(7):984-993. doi:10.1080/17461391.2018.1467489
112. González-Hernández JM, García-Ramos A, Colomer-Poveda D, et al. Resistance Training to Failure vs. Not to Failure: Acute and Delayed Markers of Mechanical, Neuromuscular, and Biochemical Fatigue. *J Strength Cond Res*. 2021;35(4). doi:10.1519/JSC.0000000000003921
113. Chin ER, Allen DG. The contribution of pH-dependent mechanisms to fatigue at different intensities in mammalian single muscle fibres. *Journal of Physiology*. 1998;512(3). doi:10.1111/j.1469-7793.1998.831bd.x
114. Kraemer WJ, Ratamess NA, French DN. Resistance Training for Health and Performance. *Current Sports Medicine Reports*. 2002;1:165-171.

115. Vingren JL, Kraemer WJ, Ratamess NA, Anderson JM, Volek JS, Maresh CM. *Testosterone Physiology in Resistance Exercise and Training The Up-Stream Regulatory Elements*.
116. Marrier B, Durguerian A, Robineau J, et al. Preconditioning Strategy in Rugby-7s Players: Beneficial or Detrimental? *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2018;14(7):918-926. doi:10.1123/ijsp.2018-0505
117. Gorostiaga EM, Navarro-Amézqueta I, Calbet JAL, et al. Blood ammonia and lactate as markers of muscle metabolites during leg press exercise. *J Strength Cond Res*. 2014;28(10):2775-2785. doi:10.1519/JSC.0000000000000496
118. Liedman R, Hansson SR, Howe D, et al. Reproductive hormones in plasma over the menstrual cycle in primary dysmenorrhea compared with healthy subjects. *Gynecol Endocrinol*. 2008;24(9):508-513. doi:10.1080/09513590802306218
119. Marouliss GB, Triantafillidis IK. Polycystic ovarian disease: the adrenal connection. *Pediatr Endocrinol Rev*. 2006;3 Suppl 1:205-207.
120. Kim HH. Regulation of gonadotropin-releasing hormone gene expression. *Semin Reprod Med*. 2007;25(5):313-325. doi:10.1055/S-2007-984737
121. Mauras N, Hayes V, Welch S, et al. Testosterone Deficiency in Young Men: Marked Alterations in Whole Body Protein Kinetics, Strength, and Adiposity 1. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 1998;83(6). doi:10.1210/jcem.83.6.4892
122. Ferrando AA, Sheffield-Moore M, Yeckel CW, et al. Testosterone administration to older men improves muscle function: Molecular and physiological mechanisms. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*. 2002;282(3 45-3). doi:10.1152/ajpendo.00362.2001
123. Mayer M, Rosen F. Interaction of anabolic steroids with glucocorticoid receptor sites in rat muscle cytosol. *Am J Physiol*. 1975;229(5):1381-1386. doi:10.1152/AJPLEGACY.1975.229.5.1381
124. Häkkinen K, Pakarinen A, Alén M, Kauhanen H, Komi P v. Neuromuscular and hormonal responses in elite athletes to two successive strength training sessions in one day. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1988;57(2):133-139. doi:10.1007/BF00640652
125. Kraemer WJ, Marchitelli L, Gordon SE, et al. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol (1985)*. 1990;69(4):1442-1450. doi:10.1152/JAPPL.1990.69.4.1442
126. Smilios I, Piliandis T, Karamouzis M, Tokmakidis SP. Hormonal responses after various resistance exercise protocols. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(4):644-654. doi:10.1249/01.MSS.0000058366.04460.5F
127. eo W, McGuigan MR, Newton MJ. The effects of circadian rhythmicity of salivary cortisol and testosterone on maximal isometric force, maximal dynamic force, and power output. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2011;25(6):1538-1545. doi:10.1519/JSC.0b013e3181da77b0

128. Hayes LD, Bickerstaff GF, Baker JS. Interactions of cortisol, testosterone, and resistance training: influence of circadian rhythms. *Chronobiol Int.* 2010;27(4):675-705. doi:10.3109/07420521003778773
129. Cook CJ, Beaven CM. Salivary testosterone is related to self-selected training load in elite female athletes. *Physiol Behav.* 2013;116-117:8-12. doi:10.1016/J.PHYSBEH.2013.03.013
130. Cook CJ, Crewther BT. Changes in salivary testosterone concentrations and subsequent voluntary squat performance following the presentation of short video clips. *Hormones and Behavior.* 2012;61(1):17-22. doi:10.1016/J.YHBEH.2011.09.006
131. Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *Br Med Bull.* 2007;81-82(1):209-230. doi:10.1093/BMB/LDM014
132. Bijsterbosch MK, Duursma AM, Smit MJ, Bouma JM, Gruber M. Several dehydrogenases and kinases compete for endocytosis from plasma by rat tissues. *Biochem J.* 1985;229(2):409-417. doi:10.1042/BJ2290409
133. Fink R, Lüttgau HC. An evaluation of the membrane constants and the potassium conductance in metabolically exhausted muscle fibres. *J Physiol.* 1976;263(2):215-238. doi:10.1113/JPHYSIOL.1976.SP011629
134. Baird MF, Graham SM, Baker JS, Bickerstaff GF, Biesalski HK. Creatine-Kinase-and Exercise-Related Muscle Damage Implications for Muscle Performance and Recovery. *Journal of Nutrition and Metabolism.* 2012;2012:13. doi:10.1155/2012/960363
135. Hall MM, Rajasekaran S, Thomsen TW, Peterson AR. Lactate: Friend or Foe. doi:10.1016/j.pmrj.2015.10.018
136. Faude O, Kindermann W, Meyer T. *Lactate Threshold Concepts How Valid Are They?*
137. Goodwin ML, Harris JE, Hernández A, Bruce Gladden L. *Blood Lactate Measurements and Analysis during Exercise: A Guide for Clinicians.* Vol 1.; 2007. www.journalofdst.org
138. Gladden LB. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *J Physiol.* 2004;558:5-30. doi:10.1113/jphysiol.2003.058701
139. Ferguson BS, Rogatzki MJ, Matthew , et al. Lactate metabolism: historical context, prior misinterpretations, and current understanding. *European Journal of Applied Physiology.* 2018;118(3):691-728. doi:10.1007/s00421-017-3795-6
140. Cairns SP. Lactic acid and exercise performance : culprit or friend? *Sports Med.* 2006;36(4):279-291. doi:10.2165/00007256-200636040-00001
141. Dutka TL, Lamb GD. Effect of lactate on depolarization-induced Ca(2+) release in mechanically skinned skeletal muscle fibers. *Am J Physiol Cell Physiol.* 2000;278(3). doi:10.1152/AJPCELL.2000.278.3.C517
142. Brooks GA. Lactate doesn't necessarily cause fatigue: why are we surprised? *The Journal of Physiology.* 2001;536(Pt 1):1. doi:10.1111/J.1469-7793.2001.T01-1-00001.X

143. Tesch PA, Colliander EB, Kaiser P. Muscle metabolism during intense, heavy-resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 1986 55:4. 1986;55(4):362-366. doi:10.1007/BF00422734
144. Wirtz N, Wahl P, Kleinöder H, Mester J. *Lactate Kinetics during Multiple Set Resistance Exercise.* Vol 13.; 2014. http://www.jssm.org
145. Párraga-Montilla JA, García-Ramos A, Castaño-Zambudio A, et al. Acute and Delayed Effects of a Resistance Training Session Leading to Muscular Failure on Mechanical, Metabolic, and Perceptual Responses. *J Strength Cond Res.* 2020;34(8). doi:10.1519/JSC.0000000000002712
146. Buitrago S, Wirtz N, Yue Z, Kleinöder H, Mester J. Effects of load and training modes on physiological and metabolic responses in resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology.* 2012;112(7). doi:10.1007/s00421-011-2249-9
147. Gorostiaga EM, Navarro-Amézqueta I, Calbet JAL, et al. Blood ammonia and lactate as markers of muscle metabolites during leg press exercise. *J Strength Cond Res.* 2014;28(10):2775-2785. doi:10.1519/JSC.0000000000000496
148. Saw AE, Main LC, Gastin PB. Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. doi:10.1136/bjsports-2015-094758
149. Kölling S, Schaffran P, Bibbey A, et al. Validation of the Acute Recovery and Stress Scale (ARSS) and the Short Recovery and Stress Scale (SRSS) in three English-speaking regions. *Journal of Sports Sciences.* 2020;38(2):130-139. doi:10.1080/02640414.2019.1684790
150. Watson A, Brickson S, Brooks A, Dunn W. Subjective well-being and training load predict in-season injury and illness risk in female youth soccer players. *British Journal of Sports Medicine.* 2017;51(3):194-199. doi:10.1136/bjsports-2016-096584
151. Impellizzeri FM, Rampinini E, Coutts AJ, Sassi A, Marcora SM. Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 2004;36(6). doi:10.1249/01.MSS.0000128199.23901.2F
152. Borg Gunnar, Löllgen H. Borg's perceived exertion and pain scales. *Deutsche Zeitschrift fur Sportmedizin.* 2001;52(9):252. doi:10.1249/00005768-199809000-00018
153. Sikorski EM, Wilson JM, Lowery RP, et al. Changes in perceived recovery status scale following high-volume muscle damaging resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2013;27(8):2079-2085. doi:10.1519/JSC.0B013E31827E8E78
154. Sansone P, Tschan H, Foster C, Tessitore A. Monitoring Training Load and Perceived Recovery in Female Basketball: Implications for Training Design. *J Strength Cond Res.* 2020;34(10):2929-2936. doi:10.1519/JSC.0000000000002971

155. Laurent CM, Green JM, Bishop PA, et al. A practical approach to monitoring recovery: Development of a perceived recovery status scale. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2011;25(3):620-628. doi:10.1519/JSC.OB013E3181C69EC6
156. Hooper SL, Mackinnon LT, Howard A, Gordon RD, Bachmann AW. Markers for monitoring overtraining and recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1995;27(1). doi:10.1249/00005768-199501000-00019
157. Bailey RL, Saldanha LG, Gahche JJ, Dwyer JT. Estimating caffeine intake from energy drinks and dietary supplements in the United States. *Nutr Rev*. 2014;72 Suppl 1(Suppl 1):9-13. doi:10.1111/NURE.12138
158. Wickham KA, Spriet LL. Administration of Caffeine in Alternate Forms. *Sports Med*. 2018;48(Suppl 1):79-91. doi:10.1007/S40279-017-0848-2
159. del Coso J, Muñoz G, Muñoz-Guerra J. Prevalence of caffeine use in elite athletes following its removal from the World Anti-Doping Agency list of banned substances. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*. 2011;36(4):555-561. doi:10.1139/H11-052
160. van Thuyne W, Delbeke FT. Distribution of caffeine levels in urine in different sports in relation to doping control before and after the removal of caffeine from the WADA doping list. *Int J Sports Med*. 2006;27(9):745-750. doi:10.1055/S-2005-872921
161. Aguilar-Navarro M, Muñoz G, Salinero JJ, et al. Urine Caffeine Concentration in Doping Control Samples from 2004 to 2015. *Nutrients 2019, Vol 11, Page 286*. 2019;11(2):286. doi:10.3390/NU11020286
162. Callahan MM, Robertson RS, Arnaud MJ, Branfman AR, McComish MF, Yesair DW. Human metabolism of [1-methyl-14C]- and [2-14C]caffeine after oral administration. *Drug Metabolism and Disposition*. 1982;10(4).
163. Carrillo JA, Benitez J. Clinically significant pharmacokinetic interactions between dietary caffeine and medications. *Clinical Pharmacokinetics*. 2000;39(2). doi:10.2165/00003088-200039020-00004
164. Blanchard J, Sawers SJA. The absolute bioavailability of caffeine in man. *European Journal of Clinical Pharmacology*. 1983;24(1). doi:10.1007/BF00613933
165. Arnaud MJ. Metabolism of Caffeine and Other Components of Coffee. *Caffeine, Coffee and Health*. Published online 1993:45-50.
166. Grzegorzewski J, Bartsch F, Köller A, König M. Pharmacokinetics of Caffeine: A Systematic Analysis of Reported Data for Application in Metabolic Phenotyping and Liver Function Testing. *Front Pharmacol*. 2022;12:752826. doi:10.3389/fphar.2021.752826
167. McLellan TM, Caldwell JA, Lieberman HR. A review of caffeine's effects on cognitive, physical and occupational performance. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2016;71:294-312. doi:10.1016/j.neubiorev.2016.09.001

168. Magkos F, Kavouras SA. Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and cellular mechanisms of action. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2005;45(7-8):535-562. doi:10.1080/1040-830491379245
169. Sökmen B, Armstrong LE, Kraemer WJ, et al. Caffeine use in sports: Considerations for the athlete. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2008;22(3):978-986. doi:10.1519/JSC.OB013E3181660cec
170. Lara B, Gonzalez-Millán C, Salinero JJ, et al. Caffeine-containing energy drink improves physical performance in female soccer players. *Amino Acids*. 2014;46(5):1385-1392. doi:10.1007/s00726-014-1709-z
171. del Coso J, Muñoz-Fernández VE, Muñoz G, et al. Effects of a Caffeine-Containing Energy Drink on Simulated Soccer Performance. *PLOS ONE*. 2012;7(2):e31380.
172. del Coso J, Pérez-López A, Abian-Vicen J, Salinero JJ, Lara B, Valadés D. Enhancing physical performance in male volleyball players with a caffeine-containing energy drink. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2014;9(6):1013-1018. doi:10.1123/ijsp.2013-0448
173. Behrens M, Mau-Moeller A, Weippert M, et al. Caffeine-induced increase in voluntary activation and strength of the quadriceps muscle during isometric, concentric and eccentric contractions. *Sci Rep*. 2015;5. doi:10.1038/SREP10209
174. Burke LM, Desbrow B, Spriet LL. *Caffeine for Sports Performance*. Human Kinetics; 2013.
175. Deldicque L, Petersen C, Loureiro Martins G, et al. Caffeine and Exercise Performance: Possible Directions for Definitive Findings. *Frontiers in Sports and Active Living | www.frontiersin.org*. 2020;2:574854. doi:10.3389/fspor.2020.574854
176. Davis JK, Green JM. Caffeine and anaerobic performance: Ergogenic value and mechanisms of action. *Sports Medicine*. 2009;39(10):813-832. doi:10.2165/11317770-000000000-00000
177. Giráldez-Costas V, González-García J, Lara B, Coso J del, Wilk M, Salinero JJ. Caffeine Increases Muscle Performance during a Bench Press Training Session. *Journal of Human Kinetics*. 2020;74(1):185-193. doi:10.2478/hukin-2020-0024
178. Pallarés JG, Fernández-Elías VE, Ortega JF, Muñoz G, Muñoz-Guerra J, Mora-Rodríguez R. Neuromuscular responses to incremental caffeine doses: Performance and side effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2013;45(11):2184-2192. doi:10.1249/MSS.0b013e31829a6672
179. Lago-Rodríguez Á, Jodra P, Bailey S, Domínguez R. Caffeine improves performance but not duration of the countermovement jump phases. *J Sports Med Phys Fitness*. Published online July 23, 2020. doi:10.23736/S0022-4707.20.11099-5
180. Cox GR, Desbrow B, Montgomery PG, et al. Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *Journal of Applied Physiology*. 2002;93(3):990-999. doi:10.1152/jappphysiol.00249.2002

181. Mohr M, Nielsen JJ, Bangsbo J. Caffeine intake improves intense intermittent exercise performance and reduces muscle interstitial potassium accumulation. *Journal of Applied Physiology*. 2011;111(5). doi:10.1152/jappphysiol.01028.2010
182. Warren GL, Park ND, Maresca RD, McKibans KI, Millard-Stafford ML. Effect of caffeine ingestion on muscular strength and endurance: A meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Published online 2010. doi:10.1249/MSS.0b013e3181cabb8
183. Bloms LP, Fitzgerald JS, Short MW, Whitehead JR. The effects of caffeine on vertical jump height and execution in collegiate athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2016;30(7):1855-1861. doi:10.1519/JSC.0000000000001280
184. Burke BI, Travis SK, Gentles JA, Sato K, Lang HM, Bazzyler CD. The Effects of Caffeine on Jumping Performance and Maximal Strength in Female Collegiate Athletes. *Nutrients*. 2021;13(8). doi:10.3390/NU13082496
185. Zbinden-Foncea H, Rada I, Gomez J, et al. Effects of caffeine on countermovement-jump performance variables in elite male volleyball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2018;13(2):145-150. doi:10.1123/ijsp.2016-0705
186. Mesquita RNO, Cronin NJ, Kyröläinen H, Hintikka J, Avela J. Effects of caffeine on neuromuscular function in a non-fatigued state and during fatiguing exercise. *Exp Physiol*. 2020;105(4):690-706. doi:10.1113/EP088265
187. Grgic J, Trexler ET, Lazinica B, Pedisic Z. Effects of caffeine intake on muscle strength and power: A systematic review and meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr*. 2018;15(1):11. doi:10.1186/s12970-018-0216-0
188. Salinero JJ, Lara B, del Coso J. Effects of acute ingestion of caffeine on team sports performance: a systematic review and meta-analysis. *Research in Sports Medicine*. 2019;27(2). doi:10.1080/15438627.2018.1552146
189. Doherty M, Smith PM. Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: A meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 2005;15(2). doi:10.1111/j.1600-0838.2005.00445.x
190. Sabol F, Grgic J, Mikulic P. The effects of 3 different doses of caffeine on jumping and throwing performance: A randomized, double-blind, crossover study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2019;14(9):1170-1177. doi:10.1123/ijsp.2018-0884
191. Rousseau E, Ladine J, Liu QY, Meissner G. Activation of the Ca²⁺ release channel of skeletal muscle sarcoplasmic reticulum by caffeine and related compounds. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 1988;267(1). doi:10.1016/0003-9861(88)90010-0
192. Lindinger MI, Graham TE, Spriet LL. Caffeine attenuates the exercise-induced increase in plasma [K⁺] in humans. *Journal of Applied Physiology*. 1993;74(3). doi:10.1152/jappphysiol.1993.74.3.1149

193. Guest NS, Vandusseldorp TA, Nelson MT, et al. International society of sports nutrition position stand: caffeine and exercise performance. doi:10.1186/s12970-020-00383-4
194. Grgic J, Trexler ET, Lazinica B, Pedisic Z. Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. doi:10.1186/s12970-018-0216-0
195. Grgic J, Mikulic P. Effects of caffeine on rate of force development: A meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports*. 2022;32(4):644-653. doi:10.1111/SMS.14109
196. Askow AT, Merrigan JJ, Neddo JM, et al. Effect of Strength on Velocity and Power During Back Squat Exercise in Resistance-Trained Men and Women. *J Strength Cond Res*. 2019;33(1):1-7. doi:10.1519/JSC.0000000000002968
197. Borg G. Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*. 1990;16(SUPPL. 1):55-58. doi:10.5271/sjweh.1815
198. Rahmani A, Viale F, Dalleau G, Lacour JR. Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 2001;84(3):227-232. doi:10.1007/PL00007956
199. Chavda S, Bromley T, Jarvis P, et al. Force-time characteristics of the countermovement jump: Analyzing the curve in excel. *Strength and Conditioning Journal*. 2018;40(2):67-77. doi:10.1519/SSC.0000000000000353
200. Mercer R, Russell J, McGuigan L, Coutts A, Strack D, McLean B. Finding the Signal in the Noise—Interday Reliability and Seasonal Sensitivity of 84 Countermovement Jump Variables in Professional Basketball Players | Mendeley. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2021;(Publish Ahead of Print). Accessed June 8, 2022. <https://www.mendeley.com/search/?page=1&query=Finding%20the%20Signal%20in%20the%20Noise%E2%80%94Interday%20Reliability%20and%20Seasonal%20Sensitivity%20of%2084%20Countermovement%20Jump%20Variables%20in%20Professional%20Basketball%20Players&sortBy=relevance>
201. Weir JP. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2005;19(1):231-240. doi:10.1519/15184.1
202. Hopkins WG. Spreadsheets for analysis of validity and reliability. *Sportscience*. 2015;19:36-42.
203. Portney LG, Watkins MP. *Foundations of Clinical Research: Applications to Practice, 3rd Edition | Pearson*; 2008. Accessed April 29, 2020. <https://www.pearson.com/us/higher-education/program/Portney-Foundations-of-Clinical-Research-Applications-to-Practice-3rd-Edition/PGM274308.html>
204. Hopkins WG. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine*. 2000;30(1):1-15. doi:10.2165/00007256-200030010-00001

205. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. L. Erlbaum Associates; 1988.
206. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2009;41(1):3-12. doi:10.1249/MSS.0b013e31818cb278
207. Heishman AD, Daub BD, Miller RM, Freitas EDS, Frantz BA, Bemben MG. Countermovement Jump Reliability Performed With and Without an Arm Swing in NCAA Division 1 Intercollegiate Basketball Players. *J Strength Cond Res*. 2018;34(2):546-558. doi:10.1519/JSC.0000000000002812
208. Muñoz A, López-Samanes Á, Aguilar-Navarro M, et al. Effects of CYP1A2 and ADORA2A genotypes on the ergogenic response to caffeine in professional handball players. *Genes (Basel)*. 2020;11(8):1-16. doi:10.3390/genes11080933
209. McMahon JJ, Suchomel TJ, Lake JP, Comfort P. Understanding the key phases of the countermovement jump force-time curve. *Strength and Conditioning Journal*. 2018;40(4):96-106. doi:10.1519/SSC.0000000000000375
210. Pallarés JG, López-Samanes Á, Moreno J, Fernández-Elías VE, Ortega JF, Mora-Rodríguez R. Circadian rhythm effects on neuromuscular and sprint swimming performance. *Biological Rhythm Research*. 2013;45(1):51-60. doi:10.1080/09291016.2013.797160
211. González-García J, Giráldez-Costas V, Ruiz-Moreno C, Gutiérrez-Hellín J, Romero-Moraleda B. Delayed potentiation effects on neuromuscular performance after optimal load and high load resistance priming sessions using velocity loss. *European Journal of Sport Science*. Published online December 10, 2020:1-28. doi:10.1080/17461391.2020.1845816
212. Moir GL. Three different methods of calculating vertical jump height from force platform data in men and women. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*. 2008;12(4):207-218. doi:10.1080/10913670802349766
213. McMahon JJ, Lake JP, Ripley NJ, Comfort P. Vertical jump testing in rugby league: A rationale for calculating take-off momentum. *Journal of Applied Biomechanics*. 2020;36(6):370-374. doi:10.1123/JAB.2020-0100
214. Cronin JB, Hansen KT. Strength and power predictors of sports speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2005;19(2):349-357. doi:10.1519/14323.1
215. Suchomel TJ, Bailey CA, Sole CJ, Grazer JL, Beckham GK. Using reactive strength index-modified as an explosive performance measurement tool in Division I athletes. *J Strength Cond Res*. 2015;29(4):899-904. doi:10.1519/JSC.0000000000000743
216. McMahon JJ, Murphy S, Rej SJE, Comfort P. Countermovement-jump-phase characteristics of senior and academy rugby league players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2017;12(6):803-811. doi:10.1123/ijsp.2016-0467

217. Pérez-Castilla A, Weakley J, García-Pinillos F, Rojas FJ, García-Ramos A. Influence of countermovement depth on the countermovement jump-derived reactive strength index modified. *European Journal of Sport Science*. 2021;21(12):1606-1616. doi:10.1080/17461391.2020.1845815
218. Hopkins WG. How to Interpret Changes in an Athletic Performance Test. *Sportscience*. 2004;8.
219. Drust B, Waterhouse J, Atkinson G, Edwards B, Reilly T. Circadian rhythms in sports performance - An update. *Chronobiology International*. 2005;22(1):21-44. doi:10.1081/CBI-200041039
220. Behm DG, Sale DG. Velocity Specificity of Resistance Training. *Sports Medicine*. 1993;15(6):374-388. doi:10.2165/00007256-199315060-00003
221. Aughey RJ, Murphy KT, Clark SA, et al. Muscle Na⁺-K⁺-ATPase activity and isoform adaptations to intense interval exercise and training in well-trained athletes. *Journal of Applied Physiology*. 2007;103(1). doi:10.1152/jappphysiol.00236.2006
222. Leppik JA, Aughey RJ, Medved I, et al. Prolonged exercise to fatigue in humans impairs skeletal muscle Na-K-ATPase activity, sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ release, and Ca²⁺ uptake. *J Appl Physiol*. 2004;97:1414-1423. doi:10.1152/jappphysiol.00964.2003.-Prolonged
223. Harris RC, Edwards RHT, Hultman E, Nordesjö LO, Ny Lind B, Sahlin K. The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*. 1976;367(2). doi:10.1007/BF00585149
224. Freitas De Salles B, Simão R, Miranda F, et al. *Rest Interval between Sets in Strength Training*.
225. Hunter SK. Sex differences in human fatigability: mechanisms and insight to physiological responses. *Acta Physiol*. 2014;210:768-789. doi:10.1111/apha.12234
226. Lievens E, Klass M, Bex T, Derave W. Muscle fiber typology substantially influences time to recover from high intensity exercise. *Journal of Applied Physiology*. 2020;128(3):648-659. doi:10.1152/JAPPLPHYSIOL.00636.2019/ASSET/IMAGES/LARGE/ZDG0022033000010.JPEG
227. Vitale JA, Weydahl A. Chronotype, Physical Activity, and Sport Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine*. 2017;47(9):1859-1868. doi:10.1007/S40279-017-0741-Z/TABLES/2
228. Marshall J, Bishop C, Turner A, Haff GG. Optimal Training Sequences to Develop Lower Body Force, Velocity, Power, and Jump Height: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2021;51(6):1245-1271. doi:10.1007/S40279-021-01430-Z

229. Nájera-Ferrer P, Pérez-Caballero C, González-Badillo JJ, Pareja-Blanco F. Effects of exercise sequence and velocity loss threshold during resistance training on following endurance and strength performance during concurrent training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2021;16(6). doi:10.1123/ijsp.2020-0483
230. González-Badillo JJ, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, et al. Short-term Recovery Following Resistance Exercise Leading or not to Failure. *International Journal of Sports Medicine*. 2016;37(4):295-304. doi:10.1055/s-0035-1564254
231. Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, et al. Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. Published online 2016. doi:10.1111/cpf.12348
232. Kilduff LP, Finn C v., Baker JS, Cook CJ, West DJ. Preconditioning strategies to enhance physical performance on the day of competition. *Int J Sports Physiol Perform*. 2013;8(6):677-681. doi:10.1123/IJSP.8.6.677
233. Todd G, Taylor JL, Gandevia SC. Measurement of voluntary activation of fresh and fatigued human muscles using transcranial magnetic stimulation. *Journal of Physiology*. 2003;551(2). doi:10.1113/jphysiol.2003.044099
234. Mileva KN, Sumners DP, Bowtell JL. Decline in voluntary activation contributes to reduced maximal performance of fatigued human lower limb muscles. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112(12):3959-3970. doi:10.1007/S00421-012-2381-1
235. Cook CJ, Crewther BT. The effects of different pre-game motivational interventions on athlete free hormonal state and subsequent performance in professional rugby union matches. *Physiology and Behavior*. 2012;106(5). doi:10.1016/j.physbeh.2012.05.009
236. Crewther BT, Lowe T, Weatherby RP, Gill N, Keogh J. Neuromuscular performance of elite rugby union players and relationships with salivary hormones. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2009;23(7). doi:10.1519/JSC.0b013e3181b73c19
237. Crewther BT, Cook CJ, Gaviglio CM, Kilduff LP, Drawer S. Baseline strength can influence the ability of salivary free testosterone to predict squat and sprinting performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2012;26(1). doi:10.1519/JSC.0b013e3182185158
238. Astorino T, Roberson D. Efficacy of acute caffeine ingestion for short-term high-intensity exercise performance: a systematic review. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010;24(1). doi:10.1519/JSC.0B013E3181C1F88A
239. Grgic J, Trexler ET, Lazinica B, Pedisic Z. Effects of caffeine intake on muscle strength and power: A systematic review and meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr*. 2018;15(1):1-10. doi:10.1186/S12970-018-0216-0/FIGURES/5
240. Kalmar JM, Cafarelli E. Effects of caffeine on neuromuscular function. *Journal of Applied Physiology*. Published online 1999. doi:10.1152/jappl.1999.87.2.801

241. Shield A, Zhou S. Assessing voluntary muscle activation with the twitch interpolation technique. *Sports Medicine*. Published online 2004. doi:10.2165/00007256-200434040-00005
242. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shorten cycle performance after training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2010;42(9):1731-1744. doi:10.1249/MSS.0b013e3181d392e8
243. Merino Fernández M, Ruiz-Moreno C, Giráldez-Costas V, et al. Caffeine doses of 3 mg/kg increase unilateral and bilateral vertical jump outcomes in elite traditional Jiu-Jitsu athletes. *Nutrients*. 2021;13(5):1705. doi:10.3390/nu13051705
244. Fernández-Campos C, Dengo AL, Moncada-Jiménez J. Acute Consumption of an Energy Drink Does Not Improve Physical Performance of Female Volleyball Players. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2015;25(3):271-277. doi:10.1123/IJSNEM.2014-0101
245. Hermans EJ, Ramsey NF, van Honk J. Exogenous Testosterone Enhances Responsiveness to Social Threat in the Neural Circuitry of Social Aggression in Humans. *Biological Psychiatry*. 2008;63(3). doi:10.1016/j.biopsych.2007.05.013
246. Aarts H, van Honk J. Testosterone and unconscious positive priming increase human motivation separately. *NeuroReport*. 2009;20(14). doi:10.1097/WNR.0b013e3283308cdd
247. Bauer P, Uebellacker F, Mitter B, et al. Combining higher-load and lower-load resistance training exercises: A systematic review and meta-analysis of findings from complex training studies. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2019;22(7). doi:10.1016/j.jsams.2019.01.006
248. Barker M, Wyatt TJ, Johnson RL, et al. Performance factors, psychological assessment, physical characteristics, and football playing ability. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 1993;7(4). doi:10.1519/00124278-199311000-00007
249. Wisløff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*. 2004;38(3):285-288. doi:10.1136/bjism.2002.002071
250. Suchomel TJ, Sato K, Deweese BH, Ebben WP, Stone MH. Potentiation following ballistic and nonballistic complexes: The effect of strength level. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2016;30(7):1825-1833. doi:10.1519/JSC.0000000000001288

11. ANEXOS

11.1. PUBLICACIÓN 1

Jaime González-García, Verónica Giráldez-Costas, Carlos Ruiz-Moreno, Jorge Gutiérrez-Hellín & Blanca Romero-Moraleda (2021) Delayed potentiation effects on neuromuscular performance after optimal load and high load resistance priming sessions using velocity loss, *European Journal of Sport Science*, 21:12, 1617-1627, DOI: 10.1080/17461391.2020.1845816

11.2. PUBLICACIÓN 2



Article

Caffeine Doses of 3 mg/kg Increase Unilateral and Bilateral Vertical Jump Outcomes in Elite Traditional Jiu-Jitsu Athletes

María Merino Fernández ¹, Carlos Ruiz-Moreno ², Verónica Giráldez-Costas ², Cristina Gonzalez-Millán ², Michelle Matos-Duarte ¹, Jorge Gutiérrez-Hellín ¹ and Jaime González-García ^{2,*}

¹ Exercise and Sport Sciences, Health Sciences Faculty, Francisco de Vitoria University, UFV, Bulding E, Ctra, M-515 Pozuelo-Majadahonda Km 1800, 28223 Madrid, Spain; m.merino.prof@ufv.es (M.M.F.); michelle.matos@ufv.es (M.M.-D.); jghuniversidad@gmail.com (J.G.-H.)
² Education and Health Faculty, Camilo José Cela University, 28692 Madrid, Spain; cruizm@uqj.edu (C.R.-M.); veronicagiraldezc@gmail.com (V.G.-C.); 24crgonzalez9@gmail.com (C.G.-M.)
 * Correspondence: jaime33gonzalez@gmail.com; Tel.: +34-699-686-379

Citation: Fernández, M.M.; Ruiz-Moreno, C.; Giráldez-Costas, V.; Gonzalez-Millán, C.; Matos, M.; Gutiérrez-Hellín, J.; González-García, J. Caffeine Doses of 3 mg/kg Increase Unilateral and Bilateral Vertical Jump Outcomes in Elite Traditional Jiu-Jitsu Athletes. *Nutrients* **2021**, *13*, 1705. <https://doi.org/10.3390/nu13051705>

Academic Editors: Jason Tallis and Neil D. Clarke

Received: 8 April 2021
 Accepted: 13 May 2021
 Published: 18 May 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Caffeine increases vertical jump, although its effects on kinetics and kinematics during different phases of bilateral and unilateral jumps remain unclear. The aim of this study was to identify the effects of 3 mg/kg on kinetic, kinematic and temporal variables in the concentric and eccentric phases of bilateral and unilateral countermovement jumps. A total of 16 Spanish national team traditional Jiu-Jitsu athletes took part in two experimental trials (3 mg/kg caffeine or placebo) in a randomized, double-blind crossover study. Sixty minutes after ingestion, bilateral and unilateral jumps were performed on a force platform. Compared to the placebo, caffeine increased bilateral jump height ($p = 0.008$; $\Delta\% = 4.40$), flight time ($p = 0.008$; $\Delta\% = 2.20$), flight time:contraction time ($p = 0.029$; $\Delta\% = 8.90$), concentric impulse ($p = 0.018$; $\Delta\% = 1.80$), peak power ($p = 0.049$; $\Delta\% = 2.50$), RSI-modified ($p = 0.011$; $\Delta\% = 11.50$) and eccentric mean braking force ($p = 0.045$; $\Delta\% = 4.00$). Additionally, caffeine increased unilateral RSI-mod in both legs (Left: $p = 0.034$; $\Delta\% = 7.65$; Right: $p = 0.004$; $\Delta\% = 11.83$), left leg flight time ($p = 0.044$; $\Delta\% = 1.91$), left leg jump height ($p = 0.039$; $\Delta\% = 3.75$) and right leg FT:CT ($p = 0.040$; $\Delta\% = 9.72$). Caffeine in a dose of 3 mg/kg BM in elite Jiu-Jitsu athletes is a recommended ergogenic aid as it increased performance of bilateral and unilateral vertical jumps. These increases were also accompanied by modified jump execution during the different phases of the countermovement prior to take-off.

Keywords: power; reliability; RFD; eccentric; concentric; force-time; jump biomechanics

1. Introduction

Caffeine (1,3,7-trimethylxanthine) is a psychoactive substance found in many different sports supplements due to its associated ergogenic effect when ingested 45–90 min before sports practice [1]. Given its performance enhancing effects, this substance is currently used by different sports athletes and has been found in 74% of the urine samples analyzed in doping controls [2]. It is accepted that the main mechanism associated with sports performance is produced in the central nervous system (CNS) as an antagonist of the adenosine receptors due to its similar molecular form [1]. However, the mechanism related to caffeine in anaerobic power movements seems inconclusive. It is suggested that its effect in a peak power test could be through tetanic tension [3], however, high and toxic concentrations of caffeine in humans are necessary to produce the aforementioned neuromuscular process [3,4]. One of the increased power events associated with caffeine consumption is countermovement jump (CMJ) height [5–9], which is a useful and sensitive tool to monitor lower limb neuromuscular status [10]. However, only analyzing the main outcomes of the CMJ prevents us from understanding the neuromuscular function along the force-time curve and the different phases of the jump [11]. To give an example of this

in-depth analysis, a longitudinal examination identified that training not only influenced the performance of the traditional variables (peak power, peak velocity and jump height), it also modified the shape of the power-, force-, velocity- and displacement-time curves during the different phases of the CMJ [12]. In addition to bilateral CMJ force-time curve or phase analysis, unilateral CMJ assessment is receiving more attention due to the claim that the unilateral jump presents more similarities (one-leg nature) with different sports actions such as running strides and changes of direction [13]. Therefore, a unilateral assessment may offer better training information in order to reproduce competition-specific movement patterns. In this respect, the single-leg vertical jump has been significantly related to 10 m acceleration performance, change of direction times, the single-leg lateral jump and single-leg horizontal jump [14].

Previous research has identified that moderate doses (3–5 mg/kg) of caffeine increase power output [8] and CMJ height by 3.76–4.3% in different athletes [5,15]. Bloms et al. [5] have reported that caffeine increases peak force and average rate of force development (RFD). However, in these studies only concentric phase metrics were evaluated, which could be a limited assessment of the whole jump since the stretch-shortening cycle has not been analyzed. Just one study presents insights into the effects of caffeine in all phases of a CMJ [6]. The authors observed that caffeine increases concentric phase kinetics and kinematics, however, caffeine did not modify any temporal or performance metrics during the eccentric phase, as similarly observed by Lago-Rodríguez et al., [9]. Despite the observed performance enhancing effects of a low dose of caffeine on bilateral CMJ, the hypothetical potential of caffeine to improve single-leg jump performance and the absence of side effects in comparison to higher doses (i.e., 6 and 9 mg/kg) [16], to the authors' knowledge, no research has established the possible enhancing effects of 3 mg/kg of caffeine on bilateral and unilateral countermovement jump kinetics and kinematics in the different phases of the jump. Therefore, the aim of this research was twofold: (i) to identify the effects of 3 mg/kg on the performance and temporal outcomes of bilateral CMJ in all its phases and (ii) to establish the possible ergogenic effects of this dose on performance and temporal metrics of the unilateral CMJ. We hypothesized that 3 mg/kg of caffeine would increase the concentric metrics of both bilateral and unilateral CMJ kinetics and kinematics as this dose appears to increase high velocity-low resistance actions [16].

2. Materials and Methods

A double-blind, placebo-controlled, crossover design was used in this investigation to determine the possible ergogenic effects of 3 mg/kg of caffeine on performance, kinetics and kinematics of the bilateral and unilateral CMJ. The collected dependent variables included typical CMJ variables, alternative concentric and alternative eccentric metrics, as classified previously [17].

Sixteen ($n = 16$) elite traditional Jiu-Jitsu athletes were enrolled in this investigation. The participants were eight men (height = 176.87 ± 6.31 cm; weight = 72.59 ± 10.11 kg; age = 21.50 ± 4.75 years; training experience = 11.88 ± 3.94 years; weekly training = 11.63 ± 1.85 h/week), and eight women (height = 165.63 ± 6.39 cm; weight = 64.86 ± 6.33 kg; age = 20.63 ± 3.20 years; training experience = 15.38 ± 2.92 years; weekly training = 11.75 ± 2.19 h/week). Due to a force platform software error analysis, just the results of 14 participants were included in the analysis for the unilateral jump. All the participants who fulfilled the following inclusion criteria: (a) aged between 18 and 35 years old; (b) caffeine naïve or low habitual caffeine consumers (<0.99 mg/kg/BM/day), were selected for participation. Subjects were excluded if they reported (a) medication usage within the previous month; (b) a previous history of cardiopulmonary diseases; or (c) use of oral contraceptive pills, as they may interfere with caffeine pharmacokinetics. Participants were informed about the experimental procedures and the possible risks and benefits associated with taking part in the investigation. Additionally, they signed the written informed consent form to participate in this research. The study and informed consent procedures were approved by the University Ethics Committee under the latest version of the Declaration of Helsinki.

2.1. Pre-Experimental Procedures

On two different days, participants carried out two familiarization sessions to establish inter-day reliability of the dependent variables. Both familiarization sessions were spaced 72 h apart, with 3 bilateral CMJ and 6 unilateral CMJ (3 with the left leg and 3 with the right leg) performed. The mean value of each three attempts was entered into the statistical analysis as averaged jumps were more sensitive than the highest jump in detecting fatigue or adaptations [10]. Participants rested three minutes between each attempt. All participants carried out the jumps at the same time of day. The same standardized warm-up was performed before each session which included 5 min of cycling with a rate of perceived exertion (RPE) of 5/10, 3 min of hip, knee and ankle mobility and 10 bodyweight squats [18]. Participants followed the instructions to jump as high as possible and received the same verbal encouragement during the trials.

2.2. Experimental Procedures

Each athlete carried out two identical experimental trials, separated by a week to allow complete recovery and substance wash-out. Each participant performed 3 CMJ with both legs, 3 CMJ with the right leg and 3 CMJ with the left leg on a force platform, and 3 min of rest were programmed between each attempt. Participants ingested an unidentifiable capsule with either caffeine anhydrous (3 mg/kg-bm, Bulk Powders 100% purity, Colchester, UK) or an inert substance (Placebo; cellulose, Guinama, Valencia, Spain) 60 min before data collection. This time frame is adequate for maximizing blood caffeine concentration [19]. This dose was selected due to the benefits of increasing lower limb mechanical performance without increasing the possible side effects associated with caffeine consumption [15]. The capsules were prepared by an external researcher to ensure the blinding protocol. An alphanumeric code was assigned to each trial to blind the trial condition to participants and researchers. This coding was not revealed until the data had been analyzed.

All jumps were performed on a ForceDecks FD4000 Dual Force Platform (ForceDecks, London, United Kingdom), with a sampling rate of 1000 Hz. The collected data from each jump was entered into the ForceDecks software (ForceDecks, London, United Kingdom) to analyze each jump and generate all of the dependent variables. The reliability of the dependent variables is presented in Table 1. The onset of the movement was determined when a drop of 20 N from measured weight was produced. Vertical jump was divided into eight key phases: weighing phase, eccentric phase, braking phase, deceleration phase, concentric phase, flight phase and landing phase. To be accurate in the weighing phase, at least one second of measurement was used [11]. The eccentric phase was determined as the jump phase with negative center of mass (COM) velocity. Additionally, the braking phase was the subphase within the eccentric phase, which lasted from the instant where minimum force was detected until the end of the eccentric phase. The deceleration phase started at the moment that negative peak velocity was achieved and finished at the end of the eccentric phase (COM minimum displacement). The concentric phase started at the moment when velocity became positive and ended at take-off. The flight phase lasted from take-off to the landing and the landing phase lasted from the point where the force rose above 30 N and returned to bodyweight (Figure 1). The collected dependent variables included in this research were established based on the classification by Heishman et al. [17].

Table 1. Reliability of the bilateral and unilateral CMJ variables.

	Bilateral			Left			Right		
	ICC	SEM	MDC CI 95%	ICC	SEM	MDC CI 95%	ICC	SEM	MDC CI 95%
Conc MF/BM [N/kg]	0.69	0.5	1.41	0.92	1.80	5.01	0.89	1.5	4.19
Conc MF [N]	0.98	35.70	98.73	0.99	19.58	54.27	0.97	30.96	85.83
Conc PF/BM [N/kg]	0.81	0.50	1.49	0.90	0.72	1.99	0.83	0.81	2.24
Conc PF [N]	0.99	34.90	96.61	0.96	49.32	136.70	0.93	61.51	170.48
Conc M Power/BM [W/kg]	0.88	0.90	2.58	0.93	0.94	2.61	0.62	1.81	5.01
Conc M Power [W]	0.98	57.20	158.68	0.97	54.33	150.59	0.77	126.83	351.57
FT [ms]	0.92	13.80	38.22	0.97	11.94	33.09	0.91	18.75	51.99
CT [ms]	0.76	62.29	172.65	0.85	74.67	206.98	0.82	105.49	292.40
FT:CT	0.76	0.03	0.08	0.82	0.04	0.12	0.56	0.07	0.19
JH (Flight Time) [cm]	0.96	1.46	4.04	0.97	1.04	2.88	0.89	1.71	4.73
JH (Imp-Mom) [cm]	0.97	1.48	4.08	0.93	1.82	5.06	0.56	3.09	8.56
P Power/BM [W/kg]	0.98	0.94	2.61	0.92	2.34	6.48	0.64	3.20	8.87
P Power [W]	0.99	67.93	188.31	0.96	136.87	379.37	0.78	222.73	617.39
Conc Dur [ms]	0.84	20.35	55.53	0.85	23.24	64.41	0.82	25.43	70.49
Conc Impulse [Ns]	0.99	4.35	12.07	0.97	6.03	16.72	0.78	12.92	35.82
Conc P Vel [m/s]	0.96	0.07	0.18	0.91	0.11	0.30	0.54	0.18	0.51
Conc RFD/BM [N/s/kg]	0.92	6.05	16.77	0.83	5.15	14.27	0.53	6.29	17.45
Conc RFD [N/s]	0.90	415.1	1150.5	0.88	327.0	906.3	0.65	434.5	1204.3
Conc RPD/BM [W/s/kg]	0.66	19.57	54.24	0.95	19.91	55.19	0.84	15.39	42.67
Conc RPD [W/s]	0.78	1395.9	3869.3	0.96	758.3	2102.0	0.86	1167.0	3234.6
F at P Power [N]	0.97	51.32	142.23	0.97	35.44	98.25	0.97	37.22	103.16
RSI-modified [m/s]	0.76	0.02	0.01	0.90	0.02	0.06	0.68	0.04	0.10
Vel at P Power [m/s]	0.94	0.08	0.22	0.91	0.10	0.27	0.50	0.17	0.46
Braking Phase Dur [s]	0.31	0.06	0.16	0.79	0.06	0.16	0.79	0.07	0.20
Ecc Braking RFD/BM [N/s/kg]	0.47	11.29	31.29	0.75	9.48	26.28	0.62	14.35	39.78
Ecc Braking RFD [N/s]	0.69	728.8	2020.2	0.76	660.8	1831.6	0.61	1062.5	2945.0
Ecc Dec Phase Dur [s]	0.44	0.04	0.12	0.75	0.04	0.10	0.80	0.06	0.16
Ecc Dec RFD/BM [N/s/kg]	0.48	25.02	69.36	0.90	7.53	20.88	0.74	15.07	41.77
Ecc Dec RFD [N/s]	0.56	1914.3	5306.1	0.91	509.8	1413.1	0.73	1087.0	3013.0
Ecc M Braking F [N]	0.95	35.87	99.42	0.94	28.70	79.56	0.86	49.12	136.16
Ecc M Dec F [N]	0.87	103.79	287.70	0.88	62.79	174.03	0.87	74.03	205.20
Ecc MF [N]	1.00	2.01	5.58	1.00	6.45	17.87	0.98	13.00	36.03
Ecc M Power/BM [W/kg]	0.48	0.75	2.08	0.70	0.47	1.31	0.52	0.68	1.89
Ecc M Power [W]	0.85	50.31	138.44	0.85	33.60	93.16	0.63	47.60	132.05
Ecc PF/BM [N/kg]	0.53	2.57	7.11	0.90	0.73	2.03	0.78	1.20	3.34
Ecc PF [N]	0.81	204.43	566.66	0.95	52.08	144.37	0.87	94.33	261.48
F at Zero Vel [N]	0.81	205.11	568.54	0.96	50.53	140.07	0.87	93.21	258.37

BM = Body mass; Conc MF = concentric mean force; Conc PF = concentric peak force; Conc M power = concentric mean power; FT = Flight time; CT = Contraction time; FT:CT = ratio between flight time and contraction time; JH = Jump height; P power = concentric peak power; Conc Dur = duration of the concentric phase; Conc P Vel = concentric peak velocity; Conc RFD = concentric rate of force development; Conc RPD = concentric rate of power development; F at P Power = Force at peak power; RSI-mod = Reactive strength index-modified; Vel at P Power = Velocity at peak power; Braking phase dur = braking phase duration; Ecc Braking RFD = rate of force development during braking phase; Ecc Dec Phase Dur = Duration of the eccentric deceleration phase; Ecc Dec RFD = rate of force development during deceleration phase; Ecc M Braking F = mean force during braking phase; Ecc M Dec F = mean force during deceleration phase; Ecc MF = Eccentric mean force; Ecc M Power = Eccentric mean power; Ecc PF = Eccentric peak force; F at Zero Vel = Force at zero velocity.

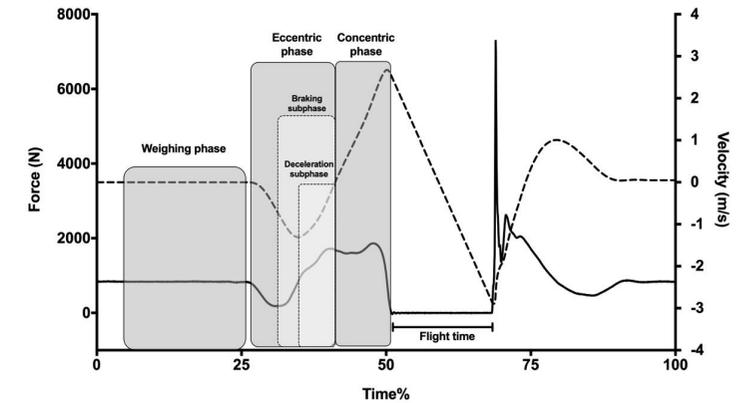


Figure 1. Force- and velocity-time curves of a representative participant.

2.3. Statistical Analysis

Statistical significance tests were carried out using IBM SPSS Statistics for Macintosh, Version 26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) and Microsoft Excel (2013; Microsoft Corporation, Albuquerque, NM, USA). The sample size was estimated using free software (G*Power v3.1). Sample size estimation revealed that 12 participants were sufficient for a one-tailed paired sample t-test with an effect size of 1.2. This effect size was calculated with the mean and SD of placebo and caffeine CMJ height from the previous literature and a Pearson correlation of 0.97 (data obtained during familiarization) assuming 5% type I and type II errors. A paired sample t-test was performed to identify the effects of 3 mg/kg of caffeine. If any dependent variable did not achieve the Shapiro-Wilk normality assumption, the Wilcoxon test was used. Between pairs, at 95% CI, Cohen’s *d* effect size (ES) was calculated using an excel spreadsheet. Intraclass Correlation Coefficient (ICC), Standard Error of the Measurement (SEM) and minimum detectable change (MDC) at 95% confidence interval (95% CI) [20] were calculated. ICC values were analyzed based on the following criteria: poor reliability, <0.5; moderate reliability, 0.5–0.75; good reliability, 0.75–0.90; and excellent reliability, >0.90 [21]. Cohen’s *d* estimated magnitudes were calculated and classified in all between-groups comparisons [22]. Results are expressed as mean ± standard deviation (SD). The significance level was set at *p* < 0.05.

3. Results

Most of the variables for bilateral and unilateral jumps presented more than acceptable reliability (Table 1).

3.1. Bilateral CMJ

The effects of caffeine on all of the bilateral CMJ metrics are displayed in Table 2. Caffeine consumption significantly increased jump height using the flight time method (*p* = 0.008; mean diff = 1.23 cm [0.27 to 2.18]; Δ% = 4.40 [0.90 to 8.00]). Flight time (*p* = 0.008; mean diff = 20.25 ms [2.30 to 18.20]; Δ% = 2.20 [0.40 to 4.00]), flight time:contraction time (FT:CT) (*p* = 0.029; mean diff = 0.05 [0.00 to 0.11]; Δ% = 8.90 [−1.40 to 20.20]), concentric impulse (*p* = 0.018; mean diff = 2.83 Ns [0.22 to 5.45]; Δ% = 1.80 [0.20 to 3.50]), absolute peak power (*p* = 0.049; mean diff = 75.47 W [−15.75 to 166.69]; Δ% = 2.50 [−0.50 to 5.50]) and Reactive Strength Index-modified (RSI-Modified) (*p* = 0.011; mean diff = 0.04 ms [0.01 to 0.08]; Δ% = 11.50 [0.90 to 23.30]) were also higher in the caffeine condition. Additionally,

jump height calculated using the impulse-momentum method tended to be higher after caffeine consumption ($p = 0.059$; mean diff = 0.8 cm [-0.23 to 1.83]; $\Delta\% = 2.70$ [-0.90 to 6.40]). The mean eccentric force produced in the braking phase was higher in the caffeine condition ($p = 0.045$; mean diff = 30.58 [-5.23 to 66.40]; $\Delta\% = 4.00$ [-0.30 to 8.40]). Despite no significant results ($p > 0.05$), most of the kinetic and kinematic metrics of the concentric and eccentric phases presented small to moderate ES in the caffeine condition.

Table 2. Kinetic and kinematic differences between Caffeine and Placebo conditions in the bilateral CMJ.

	Placebo		Caffeine		p	ES	CI 95%	
	Mean	SD	Mean	SD			Lower Limit	Upper Limit
Conc MF/BM [N/kg]	18.28	1.87	18.60	2.12	0.185	0.23	-0.27	0.72
Conc MF [N]	1251.44	176.15	1286.00	207.14	0.094	0.35	-0.17	0.85
Conc PF/BM [N/kg]	22.47	2.99	22.74	2.97	0.337	0.11	-0.39	0.60
Conc PF [N]	1551.09	279.07	1577.66	268.33	0.291	0.14	-0.35	0.63
Conc M Power/BM [W/kg]	23.39	4.85	24.18	5.46	0.131	0.29	-0.21	0.79
Conc M Power [W]	1617.31	395.33	1678.03	436.53	0.099	0.34	-0.17	0.84
FT [ms]	471.34	62.33	481.59	64.08	0.008	0.69	0.13	1.23
CT [ms]	888.47	145.83	843.78	157.71	0.123	-0.30	-0.80	0.20
FT:CT	0.55	0.12	0.60	0.15	0.029	0.52	-0.01	1.03
JH (Flight Time) [cm]	27.68	7.20	28.91	7.72	0.008	0.68	0.13	1.22
JH (Imp-Mom) [cm]	27.08	7.69	27.88	8.24	0.059	0.42	-0.10	0.92
P Power/BM [W/kg]	42.44	8.89	43.20	9.15	0.162	0.25	-0.25	0.75
P Power [W]	2927.97	676.85	3003.44	719.17	0.049	0.44	-0.08	0.95
Conc Dur [ms]	280.56	41.71	272.84	42.46	0.255	-0.17	-0.66	0.33
Conc Impulse [Ns]	158.16	32.33	160.99	32.62	0.018	0.58	0.04	1.10
Conc P Vel [m/s]	2.42	0.30	2.44	0.32	0.103	0.33	-0.18	0.83
Conc RFD/BM [N/s/kg]	21.56	15.32	20.84	17.01	0.458	-0.03	-0.52	0.46
Conc RFD [N/s]	1477.09	1004.82	1462.13	1319.38	0.487	-0.01	-0.50	0.48
Conc RPD/BM [W/s/kg]	205.20	62.70	216.72	77.21	0.224	0.20	-0.30	0.69
Conc RPD [W/s]	9223.37	4015.93	9223.37	5039.08	0.176	0.24	-0.26	0.73
F at P Power [N]	1325.75	167.75	1344.66	190.93	0.174	0.24	-0.26	0.74
RSI-modified [m/s]	0.32	0.10	0.36	0.13	0.011	0.64	0.09	1.17
Vel at P Power [m/s]	2.19	0.27	2.21	0.28	0.133	0.29	-0.22	0.79
Braking Phase Dur [s]	0.40	0.12	0.35	0.12	0.079	-0.37	-0.87	0.14
Ecc Braking RFD/BM [N/s/kg]	46.94	25.81	56.19	32.13	0.050	0.44	-0.08	0.95
Ecc Braking RFD [N/s]	3165.69	1524.04	3837.63	1964.34	0.057	0.42	-0.10	0.93
Ecc Dec Phase Dur [s]	0.21	0.07	0.19	0.07	0.113	-0.32	-0.81	0.19
Ecc Dec RFD/BM [N/s/kg]	67.97	37.59	76.19	43.57	0.170	0.25	-0.26	0.74
Ecc Dec RFD [N/s]	4615.25	2469.22	5204.31	2654.83	0.181	0.24	-0.27	0.73
Ecc M Braking F [N]	773.57	104.06	804.16	106.54	0.045	0.46	-0.07	0.96
Ecc M Dec F [N]	1048.35	184.63	1083.10	182.31	0.212	0.21	-0.29	0.70
Ecc MF [N]	679.09	88.73	682.41	87.73	0.110	0.32	-0.19	0.82
Ecc M Power/BM [W/kg]	4.91	0.82	4.91	0.99	0.494	0.00	-0.49	0.49
Ecc M Power [W]	340.72	80.21	339.31	71.94	0.479	-0.01	-0.50	0.48
Ecc PF/BM [N/kg]	20.94	3.28	21.53	3.57	0.252	0.17	-0.33	0.66
Ecc PF [N]	1448.81	309.19	1489.75	272.38	0.285	0.15	-0.35	0.64
F at Zero Vel [N]	1447.72	310.12	1486.53	270.77	0.294	0.14	-0.36	0.63

Bolded p values denote significant differences between conditions ($p < 0.05$). BM = Body mass; Conc MF = concentric mean force; Conc PF = concentric peak force; Conc M power = concentric mean power; FT = Flight time; CT = Contraction time; FT:CT = ratio between flight time and contraction time; JH = Jump height; P power = concentric peak power; Conc Dur = duration of the concentric phase; Conc P Vel = concentric peak velocity; Conc RFD = concentric rate of force development; Conc RPD = concentric rate of power development; F at P Power = Force at peak power; RSI-mod = Reactive strength index-modified; Vel at P Power = Velocity at peak power; Braking phase dur = braking phase duration; Ecc Braking RFD = rate of force development during braking phase; Ecc Dec Phase Dur = Duration of the eccentric deceleration phase; Ecc Dec RFD = rate of force development during deceleration phase; Ecc M Braking F = mean force during braking phase; Ecc M Dec F = mean force during deceleration phase; Ecc MF = Eccentric mean force; Ecc M Power = Eccentric mean power; Ecc PF = Eccentric peak force; F at Zero Vel = Force at zero velocity.

3.2. Unilateral CMJ

The effects of caffeine on all of the unilateral CMJ metrics are displayed in Table 3. As depicted in Figure 2 (Panels D–F), the RSI-modified were higher in both legs after caffeine consumption (Left leg: $p = 0.034$; mean diff = 0.012 ms [-0.00 to 0.03]; $\Delta\% = 7.65$ [-0.30 to 16.23]; right leg: $p = 0.004$; mean diff = 0.017 ms [-0.00 to 0.04]; $\Delta\% = 11.83$ [0.07 to 24.97]). Flight time ($p = 0.044$; mean diff = 7.5 ms [-1.26 to 16.26]; $\Delta\% = 1.91$ [-0.72 to 4.60]) and jump height (flight time method) ($p = 0.039$; mean diff = 0.71 cm [-0.09 to 1.52]; $\Delta\% = 3.75$ [-1.61 to 9.39]) were higher for the left leg in the caffeine condition. Moreover, FT:CT was also higher in the caffeine condition only in the right leg CMJ ($p = 0.040$; mean diff = 0.02 [-0.01 to 0.05]; $\Delta\% = 9.72$ [-0.32 to 20.77]). No differences between placebo and caffeine were observed in any other kinetic or kinematic metrics ($p > 0.05$).

Table 3. Kinetic and kinematic differences between Caffeine and Placebo conditions in the unilateral CMJ.

	Right				Left							
	Placebo		Caffeine		Placebo		Caffeine					
	Mean	SD	Mean	SD	p	ES	Mean	SD	Mean	SD	p	ES
Conc MF/BM [N/kg]	14.77	1.43	14.94	1.46	0.176	0.27	14.69	1.51	14.82	1.40	0.213	0.22
Conc MF [N]	1033.8	168.1	1045.3	165.1	0.181	0.26	1041.6	151.8	1053.4	164.6	0.159	0.28
Conc PF/BM [N/kg]	17.91	2.16	18.34	2.31	0.069	0.44	17.61	2.35	17.94	1.91	0.251	0.18
Conc PF [N]	1266.2	222.2	1289.7	232.5	0.087	0.40	1257.4	189.1	1284.9	211.5	0.221	0.21
Conc M Power/BM [W/kg]	13.66	3.82	14.34	3.14	0.125	0.34	13.54	2.92	13.93	3.16	0.199	0.23
Conc M Power [W]	972.2	335.3	1013.0	281.4	0.158	0.29	973.8	260.7	999.5	266.9	0.219	0.21
FT [ms]	341.50	53.82	349.00	61.24	0.044	0.52	335.79	55.52	340.93	54.56	0.182	0.25
CT [ms]	881.73	187.39	857.89	180.85	0.234	-0.21	937.39	174.78	880.46	185.12	0.078	-0.40
FT:CT	0.40	0.10	0.42	0.11	0.094	0.39	0.37	0.10	0.41	0.10	0.040	0.51
JH (Flight Time) [cm]	14.65	4.54	15.37	5.33	0.039	0.54	14.21	4.61	14.60	4.73	0.211	0.22
JH (Imp-Mom) [cm]	12.34	6.04	13.64	4.98	0.116	0.35	11.94	4.39	12.74	4.52	0.181	0.25
P Power/BM [W/kg]	25.37	6.95	26.76	5.86	0.131	0.33	24.63	4.71	25.65	5.21	0.098	0.36
P Power [W]	1809.1	624.9	1889.7	526.0	0.173	0.27	1773.3	453.2	1835.9	446.7	0.111	0.34
Conc Dur [ms]	320.81	54.36	327.39	60.93	0.310	0.14	326.89	51.69	325.71	60.86	0.470	-0.02
Conc Impulse [Ns]	107.94	34.76	113.66	29.90	0.098	0.38	108.51	28.67	111.09	26.45	0.243	0.19
Conc P Vel [m/s]	1.72	0.34	1.80	0.27	0.104	0.37	1.71	0.24	1.75	0.26	0.220	0.21
Conc RFD/BM [N/s/kg]	14.77	11.02	15.96	15.00	0.330	0.12	10.80	3.44	13.90	9.47	0.136	0.31
Conc RFD [N/s]	1017.6	662.3	1086.2	973.5	0.368	0.10	782.1	286.9	977.2	654.0	0.159	0.28
Conc RPD/BM [W/s/kg]	114.36	44.99	119.39	44.57	0.255	0.19	110.85	47.72	116.51	41.71	0.268	0.17
Conc RPD [W/s]	8055.0	3214.4	8346.8	3013.3	0.288	0.16	7821.8	3028.0	8302.0	2969.0	0.227	0.21
F at P Power [N]	1147.8	190.6	1157.8	182.6	0.239	0.20	1132.4	161.2	1156.3	167.0	0.082	0.39
RSI-modified [m/s]	0.17	0.07	0.19	0.07	0.034	0.56	0.16	0.06	0.18	0.07	0.040	0.51
Vel at P Power [m/s]	1.55	0.30	1.61	0.24	0.135	0.32	1.55	0.21	1.58	0.23	0.308	0.14
Braking Phase Dur [s]	0.37	0.11	0.36	0.11	0.396	-0.07	0.38	0.11	0.36	0.13	0.297	-0.15
Ecc Braking RFD/BM [N/s/kg]	36.85	25.57	33.73	20.48	0.217	-0.22	34.79	25.62	34.04	20.31	0.442	-0.04
Ecc Braking RFD [N/s]	2408.0	1255.4	2346.3	1299.9	0.400	-0.07	2419.7	1479.7	2430.7	1417.1	0.488	0.01
Ecc Dec Phase Dur [s]	0.21	0.06	0.20	0.06	0.061	-0.46	0.23	0.08	0.21	0.09	0.228	-0.21
Ecc Dec RFD/BM [N/s/kg]	36.08	23.14	37.69	25.08	0.329	0.13	37.36	32.62	38.68	26.63	0.421	0.05

Ecc Dec RFD [N/s]	2505.6	1529.3	2626.7	1612.9	0.314	0.14	2574.1	1954.3	2764.5	1821.3	0.340	0.11
Ecc M Braking F [N]	774.62	103.64	761.64	101.46	0.060	-0.47	795.02	103.05	782.24	116.14	0.159	-0.28
Ecc M Dec F [N]	955.07	142.82	948.30	170.99	0.346	-0.11	921.43	102.05	930.90	181.65	0.392	0.08
Ecc MF [N]	693.73	86.30	689.50	86.54	0.076	-0.42	704.86	94.05	703.46	94.71	0.324	-0.13
Ecc M Power/BM [W/kg]	3.70	0.51	3.54	0.85	0.203	-0.24	3.66	0.64	3.38	0.83	0.165	-0.27
Ecc M Power [W]	260.74	60.99	250.77	87.97	0.245	-0.20	259.25	52.79	243.64	78.50	0.204	-0.23
Ecc PF/BM [N/kg]	16.27	2.20	16.18	2.25	0.409	-0.07	16.46	2.76	16.23	2.36	0.352	-0.10
Ecc PF [N]	1149	214	1139	228	0.357	-0.10	1175.1	206.6	1167.9	251.7	0.432	-0.05
F at Zero Vel [N]	1145	213	1134	228	0.331	-0.12	1171.5	210.2	1164.4	250.5	0.432	-0.05

Bolded *p* values denote significant differences between conditions (*p* < 0.05). BM = Body mass; Conc MF = concentric mean force; Conc PF = concentric peak force; Conc M power = concentric mean power; FT = Flight time; CT = Contraction time; FT:CT = ratio between flight time and contraction time; JH = Jump height; P power = concentric peak power; Conc Dur = duration of the concentric phase; Conc P Vel = concentric peak velocity; Conc RFD = concentric rate of force development; Conc RPD = concentric rate of power development; F at P Power = Force at peak power; RSI-mod = Reactive strength index-modified; Vel at P Power = Velocity at peak power; Braking phase dur = braking phase duration; Ecc Braking RFD = rate of force development during braking phase; Ecc Dec Phase Dur = Duration of the eccentric deceleration phase; Ecc Dec RFD = rate of force development during deceleration phase; Ecc M Braking F = mean force during braking phase; Ecc M Dec F = mean force during deceleration phase; Ecc MF = Eccentric mean force; Ecc M Power = Eccentric mean power; Ecc PF = Eccentric peak force; F at Zero Vel = Force at zero velocity.

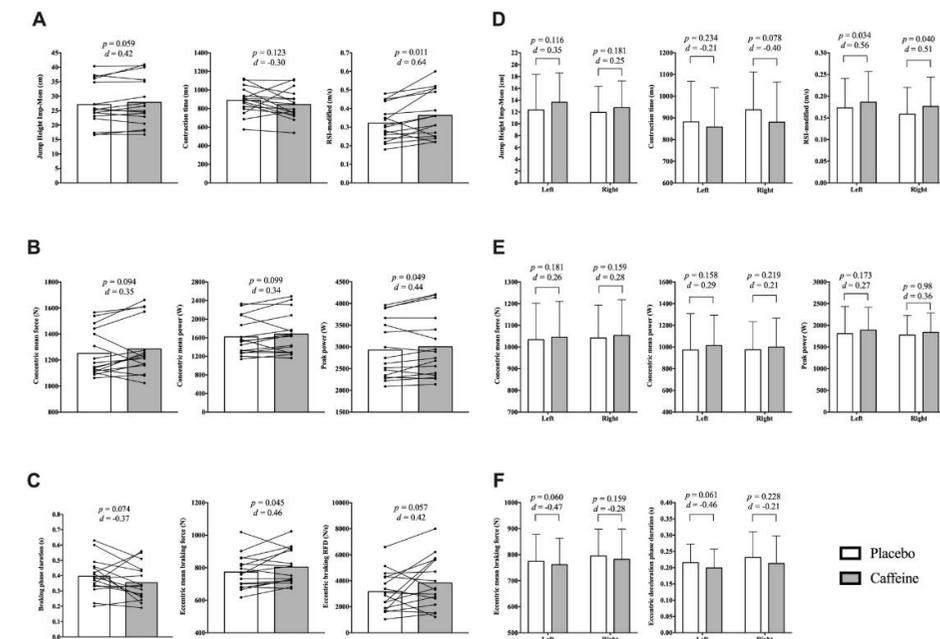


Figure 2. Mean, SD, ES and individual responses (a–c) between placebo and caffeine conditions in bilateral jump and mean, SD and ES between placebo and caffeine conditions in unilateral jumps in the different phases (d–f).

4. Discussion

The aims of the present study were to identify the effects of 3 mg/kg of caffeine on jump performance, kinetics and kinematics of the bilateral and unilateral CMJ in all their phases in elite Jiu-Jitsu athletes. As was argued, low to high doses of caffeine enhance CMJ

height and lower limb performance [5,6,8,15,23,24]. In fact, our results indicated that eccentric mean braking force, peak power, concentric impulse and flight time in the bilateral CMJ were higher after caffeine intake which translated into greater jump height. These increases were accompanied by different jump execution as explained by the differences between placebo and caffeine conditions in the RSI-mod and FT:CT. The results of the unilateral CMJ were similar, showing increases in RSI-mod, flight time, jump height and FT:CT. To the authors’ knowledge, this is the first research to highlight the SEM and MDC of the unilateral CMJ-related variables in a top-level combat sport cohort.

Our results showed increases of 2.7% (0.8 cm) to 4.4% (1.23 cm) in jump height, depending on the calculation method, following the consumption of 3 mg/kg of caffeine. These results agree with previous literature that used low to moderate doses of caffeine as an ergogenic aid [5,8,9,15]. In that research, the acute consumption of caffeine in volleyball, handball and collegiate athletes increased from 3.4 to 4.7%. Following a deeper analysis, our data revealed that concentric mean force increased by 2.50% [−1.70 to 6.80], concentric mean power by 3.40% [−2.20 to 9.10] and peak power by 2.50% [−0.50 to 5.50] (Figure 2, Panel A). These outcomes from the concentric phase of the jump were lower in comparison to those observed in previous research where concentric force increased by 6.5 ± 6.4%, peak force by 4.9 ± 9.6% [5] and peak power by 16.2 ± 8.3% [6]. These higher effects on concentric performance may be explained by the different dose of caffeine administered (3 vs. 5 mg/kg), or the different sports backgrounds; although doses ranging from 2–6 mg/kg of caffeine have shown ergogenic effects in the vertical jump test in recreationally active males [25]. It is suggested that the observed ergogenic effects are mediated by the CNS, as caffeine affects central and peripheral pathways which would induce stimulation of motor neurons, resulting in an increased release of Ca²⁺ from the sarcoplasmic reticulum [4]. This could generate a better electrochemical gradient which would induce efficient contractile activity of the effector muscle [26].

To our knowledge, only one study has examined the effects of caffeine on the eccentric phase of CMJ and it showed no beneficial effects on the eccentric peak force or the eccentric RFD [6]. Equally, our results failed to reveal any differences in mean and peak eccentric force. However, mean force and RFD during the braking phase were higher in the caffeine condition (Figure 2, Panel C). Previous isokinetic based research identified that the increases in torque production, rate of torque development and normalized muscle activities were not dependent on the type of contraction [27]. We therefore believe that it is necessary to further research the effects of caffeine on the kinetics of the eccentric phase of the jump.

In parallel, jumps in the caffeine condition presented a different execution than with the placebo. Specifically, the duration of the braking phase was shortened by 11.4% after caffeine intake and was accompanied by an increase of 4% in the eccentric force, which was translated into a higher braking RFD (Figure 2, Panel C). The increased force production in the eccentric phase may influence the force production in the concentric phase by using a better strategy performed during the eccentric phase of the jump. A greater unloading phase, may have allowed higher negative momentum which was possibly effectively converted into force, leading to higher concentric outcomes [28]. Our data also revealed that 12 of the 14 participants reduced the total contraction time (not only a reduction in the braking phase) in the caffeine condition without a decrease in concentric force production and jump height (Figure 2 Panels A and B). Consequently, a higher RSI-mod was observed in the caffeine condition ($\Delta\%$ = 11.50 [0.90 to 23.30]). Previous research did not observe differences in the duration of the jump after caffeine consumption [5,6]. However, this shortened jump execution seems to be effective for our participants as concentric net impulse and jump height increased significantly despite the lower contraction times (Table 2 and Figure 2 panel A). The shortened jump execution may be produced by possible decreased tiredness, mood improvement and higher energetic arousal, as a result of the effects of caffeine on the central neural system [29].

This is the first study that has aimed to identify the effects of 3 mg/kg of caffeine on unilateral CMJ performance during the different phases of the jump. Contrary to the bilateral jump, no improvements were observed in the kinetic or kinematic parameters of the eccentric phase of the unilateral jumps following caffeine intake. In fact, lower mean eccentric force and shortened deceleration and braking phases were observed in the caffeine condition in comparison to the placebo (Figure 2, Panel F). Although the kinetics of the eccentric phase partly explains the variance in vertical jump performance [30], the jump height after caffeine consumption increased by 1.30 cm [−0.95–3.55] for the left leg and by 0.80 cm [−1.03–2.63] for the right (Figure 2, Panel D). It is suggested that the increased vertical displacement could be produced by the effects of caffeine on the concentric phase as the outcomes in this phase were moderately to highly correlated with vertical jump displacement [31]. Despite not being statistically significant, caffeine intake produced small increases (ES > 0.2) in concentric mean and peak force which led to higher acceleration and velocity which ultimately resulted in a higher jump [32] (Figure 2, Panels D and E).

Just RSI-mod was statistically higher after caffeine consumption for both unilateral jumps, increasing by 7.65% for the left leg and 11.83% for the right CMJ (Figure 2, Panel D). However, increases in the RSI-mod occurred in different ways for each leg. For the left leg, the increases in the RSI-mod were mainly explained by greater jump height (+1.3 cm; ES = 0.54) accompanied by a slight reduction in the contraction time (−23.84 ms; ES = −0.21), while the increases in the RSI-mod for the right leg were produced by lower contraction time (−56.92 ms; ES = −0.40) and a slight increase in jump height (+0.8 cm; ES = 0.25). However, increases in RSI-mod outcomes may have been produced not only by caffeine intake as the unilateral jump has demonstrated a variable ground reaction force distribution, which in turn, may increase the variability of the time-related variables [14].

Finally, this research presented different limitations that should be considered when interpreting the results: (i) We cannot categorically conclude that the observed changes were only produced by the caffeine intake as the calculated minimum detectable change is greater than any of the observed mean differences. (ii) The relative and absolute reliability observed for the bilateral jump in this cohort was lower than previously observed in NCAA Division 1 intercollegiate basketball players [17], suggesting that the CMJ test is not as sensitive to changes in cohorts with low experience in vertical jumping. (iii) Countermovement depth was self-selected by the participants which may increase intra-individual variability due to differences in jump execution. (iv) The study was only carried out with top-level traditional Jiu-Jitsu athletes and results may not transfer to different sports cohorts, lower-level athletes or the general population.

Previous studies have demonstrated the ergogenic capacity of caffeine in bilateral vertical jump performance in different populations [5,8,15] but not in unilateral ones. Additionally, its effects on the different jump phases remain unclear. Based on our results, caffeine is an effective ergogenic aid if the aim is to increase vertical jump performance since it enhanced bilateral and unilateral jump height following a shorter jump execution. This ability to produce greater jump heights in shorter contraction times has a direct implication for those sports that involve performing this task in a shorter time than the opponent. The present research demonstrates that caffeine increases force production in the eccentric and concentric phase of the bilateral jump which translates into higher jumps and increases unilateral jump height with shorter jump execution.

5. Conclusions

The intake of 3 mg/kg of body weight of caffeine in elite Jiu-Jitsu athletes is an ergogenic aid that increases the performance of both bilateral and unilateral vertical jumps, and also modifies jump execution along with the different phases of the countermovement.

Author Contributions: Conceptualization, M.M.F., C.G.-M. and M.M.-D.; Data curation, M.M.F. and C.G.-M.; Formal analysis, C.R.-M., V.G.-C. and J.G.-G.; Methodology, M.M.F.; Project administration, M.M.F. and J.G.-H.; Supervision, J.G.-G.; Visualization, C.R.-M.; Writing—original draft, J.G.-G.; Writing—review & editing, C.R.-M., V.G.-C. and J.G.-G. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board of the Francisco de Vitoria University (7/2020, 22 March 2021)

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study

Data Availability Statement: Data presented in this study are openly available in FigShare. DOI: 10.6084/m9.figshare.14604531e

Acknowledgments: The authors wish to thank the subjects for their invaluable contribution to the study.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Magkos, F.; Kavouras, S.A. Caffeine Use in Sports, Pharmacokinetics in Man, and Cellular Mechanisms of Action. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2005**, *45*, 535–562, doi:10.1080/1040-830491379245.
- Aguilar-Navarro, M.; Muñoz, G.; Salinero, J.J.; Muñoz-Guerra, J.; Fernández-Álvarez, M.; Plata, M.D.M.; Del Coso, J. Urine Caffeine Concentration in Doping Control Samples from 2004 to 2015. *Nutrients* **2019**, *11*, 286, doi:10.3390/nu11020286.
- Kalmar, J.M. The Influence of Caffeine on Voluntary Muscle Activation. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2005**, *37*, 2113–2119, doi:10.1249/01.mss.0000178219.18086.9e.
- Kalmar, J.M.; Cafarelli, E. Effects of caffeine on neuromuscular function. *J. Appl. Physiol.* **1999**, *87*, 801–808, doi:10.1152/jappl.1999.87.2.801.
- Bloms, L.P.; Fitzgerald, J.S.; Short, M.W.; Whitehead, J.R. The Effects of Caffeine on Vertical Jump Height and Execution in Collegiate Athletes. *J. Strength Cond. Res.* **2016**, *30*, 1855–1861, doi:10.1519/jsc.0000000000001280.
- Zbinden-Foncea, H.; Rada, L.; Gomez, J.; Kokaly, M.; Stellingwerf, T.; Deldicque, L.; Peñailillo, L. Effects of Caffeine on Countermovement-Jump Performance Variables in Elite Male Volleyball Players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2018**, *13*, 145–150, doi:10.1123/ijspp.2016-0705.
- Abián-Vicén, J.; Puente, C.; Salinero, J.J.; González-Millán, C.; Areces, F.; Muñoz, G.; Muñoz-Guerra, J.; Del Coso, J. A caffeinated energy drink improves jump performance in adolescent basketball players. *Amino Acids* **2014**, *46*, 1333–1341, doi:10.1007/s00726-014-1702-6.
- Del Coso, J.; Pérez-López, A.; Abian-Vicen, J.; Salinero, J.J.; Lara, B.; Valadés, D. Enhancing Physical Performance in Male Volleyball Players with a Caffeine-Containing Energy Drink. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2014**, *9*, 1013–1018, doi:10.1123/ijspp.2013-0448.
- Lago-Rodríguez, Á.; Jodra, P.; Bailey, S.; Domínguez, R. Caffeine improves performance but not duration of the countermovement jump phases. *J. Sports Med. Phys. Fit.* **2021**, *61*, doi:10.23736/s0022-4707.20.11099-5.
- Claudino, J.G.; Cronin, J.; Mezêncio, B.; McMaster, D.T.; McGuigan, M.; Tricoli, V.; Amadio, A.C.; Serrão, J.C. The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *J. Sci. Med. Sport* **2017**, *20*, 397–402, doi:10.1016/j.jsams.2016.08.011.
- McMahon, J.J.; Suchomel, T.J.; Lake, J.P.; Comfort, P. Understanding the Key Phases of the Countermovement Jump Force-Time Curve. *Strength Cond. J.* **2018**, *40*, 96–106, doi:10.1519/ssc.0000000000000375.
- Cormie, P.; McBride, J.M.; McCaulley, G.O. Power-Time, Force-Time, and Velocity-Time Curve Analysis of the Countermovement Jump: Impact of Training. *J. Strength Cond. Res.* **2009**, *23*, 177–186, doi:10.1519/jsc.0b013e3181889324.
- Meylan, C.; McMaster, T.; Cronin, J.; Mohammad, N.I.; Rogers, C.; Deklerk, M. Single-Leg Lateral, Horizontal, and Vertical Jump Assessment: Reliability, Interrelationships, and Ability to Predict Sprint and Change-of-Direction Performance. *J. Strength Cond. Res.* **2009**, *23*, 1140–1147, doi:10.1519/jsc.0b013e318190f9e2.
- Meylan, C.M.P.; Nosaka, K.; Green, J.; Cronin, J.B. Temporal and kinetic analysis of unilateral jumping in the vertical, horizontal, and lateral directions. *J. Sports Sci.* **2010**, *28*, 545–554, doi:10.1080/02640411003628048.
- Muñoz, A.; López-Samanes, Á.; Aguilar-Navarro, M.; Varillas-Delgado, D.; Rivilla-García, J.; Moreno-Pérez, V.; Del Coso, J. Effects of CYP1A2 and ADORA2A Genotypes on the Ergogenic Response to Caffeine in Professional Handball Players. *Genes* **2020**, *11*, 933, doi:10.3390/genes11080933.
- Pallarés, J.G.; Fernández-Eliás, V.E.; Ortega, J.F.; Muñoz, G.; Muñoz-Guerra, J.; Mora-Rodríguez, R. Neuromuscular Responses to Incremental Caffeine Doses. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2013**, *45*, 2184–2192, doi:10.1249/mss.0b013e31829a6672.

11.3. PUBLICACIÓN 3

Jaime González-García, Millán Aguilar-Navarro, Verónica Giráldez-Costas & Blanca Romero-Moraleda (2022) Time Course of Jump Recovery and Performance After Velocity-Based Priming and Concurrent Caffeine Intake, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, DOI: 10.1080/02701367.2022.2041162

11.4. PUBLICACIÓN 4

Jaime González-García , Christopher Latella, Millán Aguilar-Navarro, Blanca Romero-Moraleda (2022). Effects of resistance priming on same day jumping performance: influence of strength level. *International Journal of Sports Medicine* ; 43: 1-10 DOI 10.1055/a-1898-4888 ISSN 0172-4622