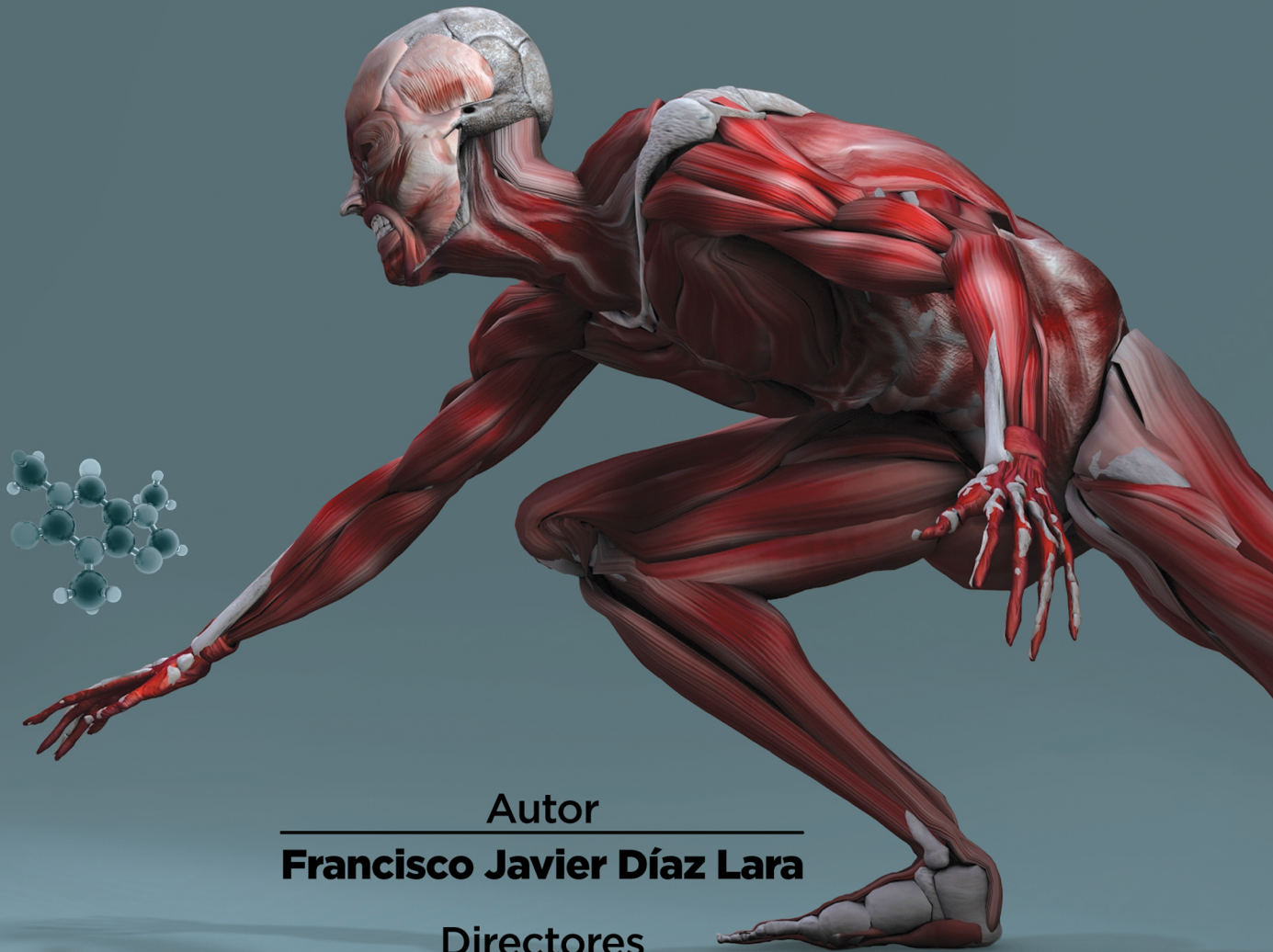


TESIS DOCTORAL

**ASPECTOS FÍSICOS
Y FISIOLÓGICOS DETERMINANTES
EN BRAZILIAN JIU-JITSU
Y LA UTILIZACIÓN DE LA CAFEÍNA
COMO AYUDA ERGOGÉNICA**

Facultad de Ciencias del Deporte



Autor

Francisco Javier Díaz Lara

Directores

Dr. Javier Abián Vicén

Dr. José Manuel García García



UCLM

Facultad de Ciencias del Deporte
Departamento: Actividad Física y Ciencias del Deporte
Programa de Doctorado: Rendimiento Deportivo

**ASPECTOS FÍSICOS Y FISIOLÓGICOS DETERMINANTES
EN BRAZILIAN JIU-JITSU Y LA UTILIZACIÓN
DE LA CAFEÍNA COMO AYUDA ERGOGÉNICA**

Autor

Francisco Javier Díaz Lara

Directores

Dr. Javier Abián Vicén

Dr. José Manuel García García

Toledo 2015

*Dedicado a mis padres, mi hermana, mi sobrina Patricia y a Ángela.
Muchas gracias por vuestro ánimo, cariño y apoyo incondicional.*

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que han colaborado directa e indirectamente en la realización de esta tesis.

En primer lugar quiero dar las gracias a mis directores de tesis, el Dr. José Manuel García, “Nano” por ser un referente para mí y por inyectarme la ilusión por aprender, investigar y enseñar desde la primera clase a la que tuve el placer de asistir, al Dr. Javier Abian, por su enorme capacidad de trabajo, por sus sugerencias, ideas, aportaciones y por guiarme de forma magistral en todo este proceso. También me gustaría mostrar mi agradecimiento al Dr. Juan del Coso, prácticamente mi tercer director, es un verdadero lujo poder aprender de personas como él.

A todos los atletas y equipos que han participado o colaborado en este proyecto: Roger Gracie España, y Roger Gracie Puertollano, Equipo de Mathías Ribeiro, Equipo de Carlos Varona, Gracie Barra Sevilla. Muchos atletas y equipos de diferentes países que participaron en el estudio en el European Open de Lisboa de 2013 y a la Federación Portuguesa de Jiu Jitsu Brasileño (FPJJB). A personas que han creído y han colaborado con este proyecto como Pablo Cabo, Javier Povedano, Mathias Ribeiro, Ezequiel Zayas, Sri Batista, João Santos y Luis Monteiro.

Al laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la Universidad Camilo José Cela y al laboratorio de Entrenamiento Deportivo de la Facultad de Ciencias del Deporte de Toledo por cedermme materiales para la toma de datos. Al Centro de Alto Rendimiento Deportivo de Madrid (CARD) y a todos sus conserjes por facilitarnos el acceso a sus instalaciones.

Este proyecto hubiera sido imposible sin la inestimable ayuda de personas que han colaborado durante las tomas de datos y organización: Javier Portillo, Javier Areces, Sergio Montoya, Manuel Sánchez, Mario Novalvos, José Ramón Díez y Ángela Olivas.

Me gustaría agradecer de manera especial su colaboración a Alberto del Campo, atleta participante y colaborador pero sobre todo amigo que ha estado siempre dispuesto a prestar su ayuda para todo lo que ha sido necesario y mucho más.

Gracias también a tres magníficas profesionales que me han facilitado en gran medida el camino, Diane Schofield y María Díaz con las revisiones de los artículos en Inglés y Marga Rodríguez con la maquetación de la tesis. Por último, destacar que las fotografías utilizadas en las figuras 5,6,7 y las portadas 2 y 4 son propiedad de Mike Calimbas Photography.

ÍNDICE

1. Resumen	15
2. Introducción	25
2.1 Justificación	25
2.2 Brazilian Jiu-jitsu como deporte de lucha y combate	27
2.2.1 Historia	27
2.2.2 La competición en BJJ. Objetivos y características	28
3. Parte teórica. Conocimiento científico	33
3.1 Brazilian Jiu-jitsu y rendimiento deportivo	33
3.1.1 Estructura temporal de un combate	33
3.1.2 Composición corporal	36
3.1.3 Potencia y Capacidad Aeróbica	39
3.1.4 Potencia y Capacidad Anaeróbica	41
3.1.5 Indicadores de intensidad analizados en Brazilian Jiu-jitsu	42
- Frecuencia cardíaca	42
- Ratio de esfuerzo percibido	43
- Daño muscular	44
- Perfil bioquímico, hormonal y sustratos energéticos	44
- El lactato como indicador de intensidad y fatiga	46
3.1.6 La Fuerza	50
- Fuerza Máxima	50
- Potencia en miembros superiores e inferiores	54
- Fuerza Resistencia	56
3.1.7 Flexibilidad	57
3.2 La cafeína	59
3.2.1 Principales fuentes de la cafeína, consumo y dosis	60
3.2.2 Bebidas energéticas y cafeína	62
3.2.3 Mecanismo de acción	63
3.2.4 Farmococinética de la cafeína	63

3.2.5 Cafeína y Rendimiento deportivo	66
- Cafeína y resistencia	68
- Cafeína, actividades intermitentes y sprints repetidos	68
- Cafeína y velocidad	69
- Cafeína y fuerza	70
- Cafeína y resistencia muscular	72
- Cafeína, metabolismo anaeróbico, lactato y rendimiento	73
- Cafeína y deportes de combate	74
- Cafeína y dopaje	77
- Cafeína, efectos secundarios y dosis adecuada	78
4. Parte empírica. Estudios aplicados	87
4.1 Estudio 1	
Composición corporal, fuerza isométrica de prensión manual y fuerza explosiva de los miembros inferiores, diferencias entre novatos y expertos en una competición internacional de Brazilian Jiu-jitsu	91
4.1.1 Objetivos	91
4.1.2 Material y métodos	91
4.1.3 Resultados	95
4.1.4 Discusión	97
4.1.5 Conclusiones	101
4.2 Estudio 2	
Análisis de los aspectos fisiológicos determinantes en una competición internacional de Brazilian Jiu-jitsu	103
4.2.1 Objetivos	103
4.2.2 Material y métodos	103
4.2.3 Resultados	107
4.2.4 Discusión	109
4.2.5 Conclusiones	113
4.3 Estudio 3	
La cafeína mejora el rendimiento muscular en atletas de élite de Brazilian Jiu-jitsu	115

4.3.1 Objetivos	115
4.3.2 Material y métodos	115
4.3.3 Resultados	122
4.3.4 Discusión	126
4.3.5 Conclusiones	130
 4.4 Estudio 4	
Una moderada dosis de cafeína mejora las acciones de alta intensidad y el rendimiento deportivo durante una competición simulada de Brazilian Jiu-jitsu	133
4.4.1 Objetivos	133
4.4.2 Material y métodos	133
4.4.3 Resultados	140
4.4.4 Discusión	147
4.4.5 Conclusiones	151
5. Conclusiones	155
6. Bibliografía	161
7. Anexos	185
 Anexo 1. Declaración de consentimiento individual	
 Anexo 2. Cuestionario de percepción de esfuerzo y efectos secundarios	
 Anexo 3. Artículo publicado en la revista <i>Archives of Budo</i>	
 Anexo 4. Artículo publicado en la revista <i>International Journal of Performance Analysis in Sport</i>	

Abreviaturas utilizadas

Las abreviaturas de los convenios internacionales de unidades de medida y las principales abreviaturas estadísticas no se incluyen en esta relación al existir normas internacionales sobre su uso.

BJJ: Brazilian Jiu-jitsu o Jiu jitsu brasileño.

CMJ: Countermovement Jump o salto con contramovimiento.

1RM: 1 repetición máxima.

MSL: Maximum static lift o Permanencia en agarre estático.

PB: Máxima potencia en press banca.

HGS: Hand grip strenght o Máxima prensión isométrica manual.

IBJJF: International Brazilian Jiu-jitsu Federation o Federación internacional de Brazilian Jiu-jitsu.

VO_{2máx} : Consumo máximo de oxígeno.

ATP-PC: Sistema de los fosfágenos.

FC: Frecuencia cardíaca.

RPE: Rating of perceived exertion o rango de esfuerzo percibido.

CK: Creatina Kinasa.

AST: Aspartato aminotransferasa.

ALT: Alanina aminotransferasa.

LDH: Lactato deshidrogenasa.

ATP: Adenosin trifosfato.

MDL: Maximun dinamic lift o Permanencia en agarre dinámico.

SNC: Sistema nervioso central.

EFSA: Agencia Europea en Seguridad Alimentaria.

AMA: Agencia Mundial Antidopaje.

H: Altura del salto.

Hf: Posición del centro de gravedad en el punto más alto de la fase de vuelo.

PP: Pico de potencia

V_{pp} : Velocidad del centro de gravedad en el instante en el que el pico de potencia es alcanzado.

F_{pp} : Fuerza del centro de gravedad en el instante en el que el pico de potencia es alcanzado.

AP: Potencia media.

Lr: Trayectoria vertical del centro de gravedad entre los instantes de despegue y aterrizaje.

F2: Segundo pico de potencia en el despegue.

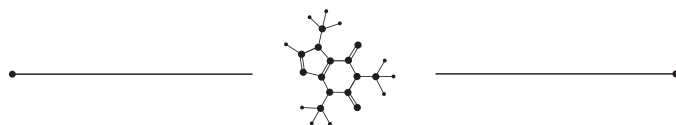
Índice de tablas

Tabla 1. Porcentaje de grasa corporal de los atletas de Brazilian Jiu-jitsu y otros deportes de lucha afines.	37
Tabla 2. Consumo de oxígeno máximo en judokas y luchadores.	40
Tabla 3. Máxima concentración de lactato sanguíneo en atletas de Brazilian Jiu-jitsu.	48
Tabla 4. Máxima producción de fuerza isométrica en atletas de Brazilian Jiu-jitsu y deportes de agarre afines.	51
Tabla 5. Rango de consumo diario de cafeína por edades.	62
Tabla 6. Farmacocinética de la cafeína en hombres.	66
Tabla 7. Esquema de las principales características metodológicas de los estudios realizados en la presente Tesis Doctoral.	89
Tabla 8. Características de los atletas de Brazilian Jiu-jitsu expertos y novatos.	95
Tabla 9. Máxima fuerza isométrica de prensión en atletas de Brazilian Jiu-jitsu.	96
Tabla 10. Variables de rendimiento medidas en un salto con contramovimiento, antes de una competición oficial.	96
Tabla 11. Máxima fuerza isométrica de prensión antes y justo después de una competición oficial de Brazilian Jiu-jitsu.	108
Tabla 12. Variables de rendimiento medidas en un salto con contramovimiento, antes e inmediatamente después de una competición oficial de Brazilian Jiu-jitsu.	108
Tabla 13. Máxima fuerza isométrica de prensión, tiempo de permanencia de agarre y variables de rendimiento en un salto con contramovimiento, con la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de peso corporal) o placebo (0 mg de cafeína).	123
Tabla 14. Variables analizadas en el test incremental de 1RM en el ejercicio de press de banca con la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de peso corporal) o placebo (0 mg de cafeína).	124
Tabla 15. Prevalencia de efectos secundarios durante las horas siguientes a la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de peso corporal) o placebo (0 mg de cafeína).	126
Tabla 16. Estructura temporal (acciones exitosas, de alta intensidad y neutras) en dos combates sucesivos durante una simulación de competición en Brazilian Jiu-Jitsu, con la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de peso corporal) o placebo (0 mg de cafeína).	140
Tabla 17. Máxima fuerza de prensión isométrica, permanencia en el test de agarre específico y altura en un salto con contramovimiento, antes y después de una competición simulada de Brazilian Jiu-Jitsu con la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de peso corporal) o placebo (0 mg de cafeína).	145

Índice de figuras

Figura 1. Puntuación oficial reglamento IBJJF.	29
Figura 2. Dimensiones del tatami.	29
Figura 3. Desglose de la estructura temporal, tomando como referencia combates simulados de 10 min de duración.	35
Figura 4. Atleta trabajando la guardia vs atleta pasando la guardia.	36
Figura 5. Inmovilización de 100 kg.	53
Figura 6. Acciones de potencia en BJJ.	54
Figura 7. Resistencia de fuerza isométrica de agarre en competición.	56
Figura 8. Molécula de cafeína.	59
Figura 9. Contenido de cafeína en diferentes productos.	61
Figura 10. Concentración de cafeína en orina en diferentes deportes.	67
Figura 11. Sustancias en el programa de monitorización de la WADA.	78
Figura 12. Cafeína y rendimiento deportivo.	82
Figura 13. European Open Jiu Jitsu 2013. Pabellón Casal Vistoso. Lisboa.	92
Figura 14. Sala anexa a los tatamis.	94
Figura 15. Diseño experimental. Estudio 2.	104
Figura 16. Atleta realizando el test CMJ inmediatamente después de su 1ª lucha.	105
Figura 17. Medición de lactato sanguíneo pre lucha.	106
Figura 18. Medición de lactato sanguíneo post primera lucha.	106
Figura 19. Asignación de cápsulas de cafeína y placebo.	117
Figura 20. Test de carga incremental en press de banca.	118
Figura 21. Máxima fuerza isométrica de presión manual.	119
Figura 22. Salto con contramovimiento.	120
Figura 23. Test de permanencia de agarre específico.	121
Figura 24. Press de banca hasta la fatiga con el peso de máxima potencia.	121
Figura 25. Máxima potencia propulsiva concéntrica en un test incremental de press de banca, con la ingestión de cafeína (3 mg por kilo de masa corporal) o placebo (0 mg de cafeína).	124
Figura 26. Potencia propulsiva media (con la carga de máxima potencia) durante un ejercicio de press de banca hasta la fatiga, con la ingestión de cafeína (3 mg por kilo de masa corporal) o placebo (0 mg de cafeína).	125
Figura 27. Diseño experimental. Estudio 4.	135

Figura 28. Disposición de los tatamis y posición de las cámaras.	136
Figura 29. Análisis de lactato sanguíneo pre y post combates.	137
Figura 30. Test físicos realizados pre y post combates.	138
Figura 31. Concentración de lactato sanguíneo en una competición simulada de Brazilian Jiu-Jitsu, con la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de peso corporal) o placebo (0 mg de cafeína).	141
Figura 32. Máxima fuerza de prensión isométrica, permanencia en el test de agarre específico y altura en un salto con contramovimiento, antes y después de una competición simulada de Brazilian Jiu-Jitsu con la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de peso corporal) o placebo (0 mg de cafeína).	144
Figura 33. Máxima potencia y máxima velocidad durante la fase concéntrica de un ejercicio de press de banca, antes y después de una competición simulada de Brazilian Jiu-Jitsu con la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de peso corporal) o placebo (0 mg de cafeína).	146



1 Resúmen



Este trabajo analiza los parámetros físicos y fisiológicos de los atletas de Brazilian Jiu-jitsu (BJJ). Para alcanzar este fin se han utilizado diferentes medios: test específicos antes y después de competiciones oficiales y luchas simuladas, análisis de las acciones durante los combates y por último, se ha utilizado una ayuda ergogénica como la cafeína para observar si mejora el rendimiento de los atletas.

Objetivo

Los objetivos del trabajo han sido: (1) comparar las similitudes y diferencias entre atletas expertos y novatos de BJJ en relación a la composición corporal y a dos variables de rendimiento específicas; la fuerza isométrica máxima de prensión o agarre y la fuerza explosiva de los miembros inferiores, antes de realizar una competición oficial. (2) Determinar en qué medida una lucha en competición oficial puede afectar a la fuerza en los miembros superiores e inferiores de los atletas de BJJ, cuantificar la máxima producción de lactato sanguíneo durante la misma y medir el grado de recuperación antes de realizar la siguiente lucha mediante el dato de aclarado de lactato sanguíneo. (3) Investigar la efectividad de la cafeína como un suplemento nutricional ergogénico para mejorar la producción de fuerza dinámica e isométrica máxima, la potencia muscular y la resistencia de fuerza mediante la realización de test específicos realizados a atletas de élite de BJJ. (4) Analizar el comportamiento de la cafeína como una ayuda eficaz para mejorar el rendimiento de los luchadores durante el desarrollo de dos luchas simuladas y test específicos de rendimiento.

Metodología

Para caracterizar este deporte participaron en esta tesis un total de 70 atletas, todos varones, distribuidos en 4 estudios. En el primer estudio se dividió la muestra ($n = 56$ atletas) en expertos y novatos. Se calculó la composición corporal mediante bioimpedancia, se midió la máxima fuerza isométrica de prensión (dinamometría) y la potencia de los miembros inferiores mediante un test de salto con contramovimiento (CMJ) antes de una competición oficial. En el segundo estudio a los atletas ($n = 26$) se les midió la máxima fuerza isométrica de prensión

(dinamometría) y la potencia de los miembros inferiores (CMJ) antes e inmediatamente después de una competición oficial, se tomaron muestras de sangre para analizar el lactato sanguíneo justo al finalizar la competición y a los 10 minutos después de la finalización. En el tercer estudio ($n = 14$) se realizó un experimento a doble ciego, aleatorizado y controlado con placebo, los atletas ingirieron 3 mg de cafeína por kilogramo de masa corporal en forma de cápsula, o la misma cápsula sin cafeína (placebo). En este estudio se realizaron diferentes test específicos de BJJ: Test de fuerza dinámica máxima, 1 repetición máxima (1RM) en press de banca, test de fuerza isométrica máxima (dinamometría manual), test de potencia de los miembros inferiores (CMJ), test de resistencia de fuerza específico de permanencia de agarre o *Maximum static lift* (MSL), test de resistencia de fuerza a la potencia (press de banca hasta la fatiga con el peso de máxima potencia). En el cuarto estudio ($n = 14$) también se utilizó un experimento a doble ciego, utilizando cafeína y placebo en dos sesiones distintas, con la misma dosis de cafeína utilizada en el estudio anterior. En este estudio se realizaron dos luchas simuladas de 8 minutos de duración, con 20 minutos de descanso entre ellas, que fueron grabadas en video para el análisis posterior de las acciones. Antes y después de las luchas también se realizaron test específicos a los atletas; se les midió la máxima fuerza isométrica (dinamometría manual), la potencia del miembro inferior (CMJ), la potencia de brazos (1 repetición en press de banca con el peso de máxima potencia) la resistencia a la fuerza de agarre (MSL). Por último antes y después de las luchas también fueron recogidos registros de lactato sanguíneo.

Resultados y discusión

(1) El porcentaje de grasa fue similar entre el grupo de expertos y novatos (expertos = 9.1 ± 4.6 %, novatos = 9.3 ± 3.7 %; $P = 0.432$), sin embargo la fuerza isométrica máxima de prensión manual fue mayor en los expertos que en los novatos tanto en mano derecha (expertos 48.6 ± 6.1 kg vs novatos 43.6 ± 7.1 kg; $P < 0.05$) como en mano izquierda (expertos 49.1 ± 7.0 kg vs novatos 43.3 ± 6.6 kg; $P < 0.001$). En cuanto a las variables de rendimiento más importantes relacionadas con el salto, los expertos superaron a los novatos en altura del salto (expertos 34.2 ± 5.1 cm vs novatos 29.7 ± 5.0 cm; $P < 0.05$) y en el Pico de potencia (expertos 51.6 ± 7.6 W·kg⁻¹ vs novatos 45.2 ± 4.9 W·kg⁻¹; $P < 0.05$). (2) Inmediatamente después de un combate oficial, se redujeron significativamente la fuerza máxima de agarre (desde 49.65 hasta 44.85 kg; $P < 0.05$) y la altura en un CMJ (desde 34.0 ± 5.2 hasta 30.8 ± 6.7 cm; $P < 0.001$). La concentración de lactato al final del combate fue 14.8 ± 3.2 mmol·L⁻¹ que fue progresivamente aclarada con ratio de 0.45 ± 0.2 mmol·L⁻¹·min⁻¹ 10 minutos después. (3) En comparación con el placebo, la ingestión de cafeína incrementó: la

máxima fuerza de prensión manual (50.9 ± 2.9 vs. 54.3 ± 3.1 kg; $P < 0.05$), la altura de un CMJ (40.6 ± 2.6 vs. 41.7 ± 3.1 cm; $P < 0.05$), y el tiempo registrado en el test MSL (54.4 ± 13.4 vs. 59.2 ± 11.9 s; $P < 0.05$). La cafeína también incrementó el 1 RM (90.5 ± 7.7 vs. 93.3 ± 7.5 kg; $P < 0.05$), la máxima potencia durante un test incremental en press banca (PB) (750.5 ± 154.7 vs. 826.9 ± 163.7 W; $P < 0.05$) y la potencia media desarrollada en un test de fuerza hasta la fatiga (274.3 ± 90.2 vs. 300.9 ± 92.1 W; $P < 0.05$). (4) El análisis de video de los dos combates, revela más acciones y un aumento en el tiempo de máxima intensidad en ambos, acompañados por mayores valores de lactato sanguíneo con la ingesta de cafeína ($P < 0.05$). Todos los test físicos realizados antes de los combates mejoraron ($P < 0.05$), y algunos mantuvieron estos incrementos después del primer combate (ej. MSL y PB) ($P < 0.05$) con la ingesta de cafeína. Después del segundo combate, a pesar de las reducciones significativas en la capacidad de agarre (ej. HGS y MSL) y potencia máxima (ej. PP) observadas con la cafeína ($P < 0.05$), los registros obtenidos se mantuvieron similares al placebo.

Conclusiones

(1) Los luchadores de BJJ tienen un bajo porcentaje de grasa, similar al que tienen otros atletas en deportes de combate como la lucha libre olímpica y el judo. No hay diferencias en cuanto a composición corporal entre atletas expertos y novatos en BJJ; sin embargo estas diferencias significativas sí se observan a favor de los atletas expertos en relación a la fuerza máxima isométrica de prensión y en la potencia de los miembros inferiores. (2) El uso de la vía glucolítica durante un combate oficial en BJJ es más elevado que el que previamente se ha venido sugiriendo. El ratio de aclarado de lactato debería ser tenido en cuenta para el rendimiento en BJJ debido a que el tiempo de recuperación entre las luchas es insuficiente para que los valores de lactato retornen a los valores previos a la lucha. Se ha observado que una lucha oficial de BJJ causa fatiga muscular tanto en los miembros superiores como en los inferiores. (3) La ingestión de 3 mg de cafeína por kg de masa corporal, puede ser un suplemento nutricional ergogénico que mejore la fuerza máxima dinámica e isométrica, la potencia muscular y la resistencia de fuerza en los atletas de élite de BJJ. (4) Una dosis moderada de cafeína (3 mg por kg de masa corporal), incrementa la intensidad ofensiva, la producción de potencia muscular, y la resistencia específica del agarre en los atletas durante dos combates simulados de BJJ.

Palabras clave: Brazilian jiu-jitsu, rendimiento deportivo, rendimiento muscular, deportes de combate, carga de entrenamiento, lactato sanguíneo, glucólisis, cafeína, fuerza, ejercicio, ayudas ergogénicas, estimulantes, lucha, grappling sports.

Abstract

This study analyzes the physical and physiological parameters of Brazilian Jiu-jitsu (BJJ). The different means used have been: specific tests before and after official competitions and simulated fights, analysis of actions during fights, and finally, using an ergogenic aid such as caffeine to observe if it can improve performance. Four applied studies have been carried out with this aim.

Purpose

The purposes of the study were: (1) To compare similarities and differences between expert and novice BJJ athletes regarding body composition and two specific performance variables; maximum isometric hand grip strength and lower limb explosive strength, before an official competition. (2) To determine how the first match in a BJJ official competition affects upper- and lower-body muscle strength and maximum production and clearance of blood lactate before the next fight. (3) To investigate the effectiveness of caffeine as an ergogenic nutritional supplement to improve dynamic and isometric force production, muscle power and endurance strength during different specific strength tests in elite BJJ athletes. (4) To analyse caffeine supplementation as a useful aid to improving the physical performance of the fighters during two simulated BJJ combats and performance-specific tests.

Methods

A total of 70 male athletes, distributed in four studies, participated in this thesis to characterize the sport of BJJ. In the first study, the sample ($n = 56$) was divided into two groups, novices and experts. Body composition was calculated by bioimpedance, maximal isometric grip strength was measured by dynamometry and lower limb strength was measured with a countermovement jump test (CMJ) before an official competition. In the second study ($n = 26$) maximal handgrip strength and maximal height during a countermovement jump (CMJ) were measured before and just after an official fight. Blood samples were also obtained just after the fight and after 10 min of passive recovery to assess blood lactate concentration and clearance. In the third study ($n = 14$), where a double-blind, placebo-controlled randomized experimental design was used, athletes ingested a dose of 3 mg of

caffeine per kg of body mass or an identical capsule without caffeine (placebo). Athletes then performed different BJJ-specific tests: a maximum dynamic strength test, a maximum repetition (1RM) in the bench press, a maximum isometric strength test (hand dynamometry), a lower limb power test (CMJ), and a maximal static lift (MSL), power load (PB) and bench press endurance test (BPE) to exhaustion. In the fourth study (n=14) a double-blind, placebo-controlled randomized experimental design was used in two different sessions with the same dose of caffeine or placebo as in the previous intervention. In this study participants performed two 8-min simulated combats, with 20 min of rest between them, which were video-recorded to subsequently analyse fight actions. Specific physical tests like maximal handgrip strength (HGS), maximal height during a countermovement jump (CMJ), permanence during a maximal static lift (MSL) test, peak power in a bench press exercise (BP) and blood lactate were measured at three specific times: prior to the first combat, and immediately after the first and second combat.

Results and discussion

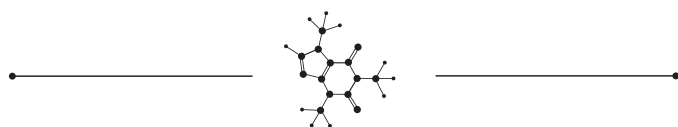
(1) Body fat percentage was similar between experts and novices (experts = 9.1 ± 4.6 %, novices = 9.3 ± 3.7 %; $P = 0.432$), however, experts obtained significant differences over novices in isometric hand grip strength in both hands; (right hand; experts 48.6 ± 6.1 kg vs novices 43.6 ± 7.1 kg; $P < 0.05$) (left hand; experts 49.1 ± 7.0 kg vs novices 43.3 ± 6.6 kg; $P < 0.001$). As for the most important performance variables in the jump, experts achieved higher values than the novices in height of jump (experts 34.2 ± 5.1 cm vs novices 29.7 ± 5.0 cm; $P < 0.05$) and peak power (experts 51.6 ± 7.6 W·kg⁻¹ vs novices 45.2 ± 4.9 W·kg⁻¹; $P < 0.05$). (2) An official BJJ fight caused significant reductions in handgrip force (from 49.65 to 44.85 kg; $P < 0.05$) and maximal height in a CMJ (from 34.0 ± 5.2 to 30.8 ± 6.7 cm; $P < 0.001$). Lactate concentration at the end of the fight (14.8 ± 3.2 mmol·L⁻¹) was progressively cleared at a rate of 0.45 ± 0.2 mmol·L⁻¹·min⁻¹ 10 minutes later. (3) In comparison to the placebo, the ingestion of the caffeine increased: hand grip force in both hands (50.9 ± 2.9 vs. 54.3 ± 3.1 kg; respectively $P < 0.05$), countermovement jump height (40.6 ± 2.6 vs. 41.7 ± 3.1 cm; $P < 0.05$), and time recorded in the MSL test (54.4 ± 13.4 vs. 59.2 ± 11.9 s; $P < 0.05$). The caffeine also increased 1RM (90.5 ± 7.7 vs. 93.3 ± 7.5 kg; $P < 0.05$), maximal power obtained during the power-load bench press test (750.5 ± 154.7 vs. 826.9 ± 163.7 W; $P < 0.05$) and mean power during the BPE test (274.3 ± 90.2 vs. 300.9 ± 92.1 W; $P < 0.05$). (4) The video analysis of the two simulated combats revealed increases both in the time and the number of the offensive high-intensity actions, accompanied by higher levels of blood lactate, with the ingestion of caffeine ($P < 0.05$). Performance in all physical tests carried

out before the first combat was enhanced with caffeine ($P < 0.05$), and some increases in these tests remained post first combat (e.g. MSL and PB); $P < 0.05$). After the second combat, despite significant reductions in grip capability (e.g. HGS and MSL) and maximal power in upper limbs (e.g. PB) observed with the caffeine, the values in all physical tests were similar between caffeine and placebo.

Conclusions

(1) BJJ athletes have lower fat percentages, which is quite similar to practitioners of other combat sports such as wrestling and judo. No differences were observed in body composition between experts and novices. However, there were significant differences in favour of the expert athletes with regard to maximum isometric hand grip strength and power in lower limbs. (2) The use of the glycolytic pathways during an official BJJ fight was higher than previously suggested. It is essential to consider the rate of blood lactate clearance for BJJ performance because the recovery time between fights is insufficient to enable them to return to pre-fight blood lactate values. Furthermore, it has been observed that BJJ fighting causes muscle fatigue in both upper-body and lower-body muscles. (3) The ingestion of 3 mg of caffeine per kg of body mass might be an ergogenic nutritional supplement to improve maximum dynamic and isometric force, muscle power and endurance strength in elite BJJ athletes. (4) A moderate dose of caffeine (3 mg of caffeine per kg of body mass) enhanced the offensive intensity of combat, muscle power production in upper and lower limbs and gripping endurance in BJJ athletes during two BJJ simulated combats.

Keywords: Brazilian jiu-jitsu, sport performance, muscle performance, combat sports, training load, blood lactate, glycolysis, performance, caffeine, force, exercise, ergogenic aids, stimulants, fight, grappling sports.



2 Introducción

"Cuanto más entreno, más suerte tengo"

Gary Player



2.1 Justificación

Es ahora, justo antes de culminar el largo proceso de elaboración de mi tesis doctoral, la cual supone el punto de partida del desarrollo de un investigador, cuando no puedo sino detenerme a reflexionar sobre la razón por la cual muchas personas abandonan en mitad del camino. El propio Einstein solía reconocer que no tenía ningún talento especial más que ser profundamente curioso, y yo creo firmemente que es esa curiosidad la que aporta la motivación necesaria para finalizar una carrera de fondo como ésta. El sacrificio y trabajo que reclama sólo puede ser sostenido a partir de una verdadera motivación por conocer, comprender y explicar. Conviniendo con Edison en que la investigación científica supone un 1% de inspiración y un 99% de transpiración, me atrevería, si se me permite, desde mi humilde experiencia, y con el fin de evitar la caída en el desánimo y afrontar con éxito este reto, dar unos consejos a la gente que pudiera leer estas líneas y se esté planteando comenzar una labor investigadora. Por un lado, es fundamental rodearse de las personas correctas, que apoyen, inspiren y respeten tu trabajo; por otro, y en la medida de lo posible, elegir un tema a desarrollar que despierte en uno mismo la cantidad de curiosidad suficiente como para sacrificar la mayor parte de tu tiempo durante un período de la vida.

La presente tesis doctoral, es el resultado de un largo camino que comenzó hace unos 10 años con la realización de los cursos de doctorado en el programa de rendimiento deportivo en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y Deporte de Toledo. La investigación y el rendimiento deportivo siempre me han apasionado. Gracias al Dr. José Manuel García empezaron a interesarme también los deportes de combate y en especial el judo, deporte en el que actualmente ostento el grado de cinturón negro 2º dan. Mis primeros pasos en la investigación deportiva los realicé comparando a judokas expertos y novatos. Para el desarrollo de esta tarea, y de nuevo con la ayuda de mi director José Manuel García y la inestimable colaboración del Dr. Luis Fernandes Monteiro, tuve la oportunidad de testar a atletas de primer nivel de la selección española y portuguesa de judo. Esta investigación alcanzó su culminación con la presentación del trabajo “Cinética de producción y aclaramiento de lactato en judokas expertos y novatos en un test específico de judo”, trabajo con el que obtendría la suficiencia investigadora en 2009.

Desde 2009 a 2012 se produce una pausa y un replanteamiento de lo que iba a ser mi futura línea de investigación. A través de años de práctica, formación, entrenamiento e investigación en judo, me empiezo a sentir cada vez más atraído por el trabajo de suelo (ne waza), este hecho dio lugar al descubrimiento de un deporte de combate novedoso para mí, con muchas similitudes al Judo, pero en el que la lucha de suelo es la esencia, así empiezo a entrenar y a interesarme por este nuevo concepto de lucha denominado Brazilian Jiu-jitsu. En 2012 con energías renovadas vuelvo a retomar la investigación, gracias al gran impulso, energía y ayuda del Dr. Javier Abián, el cual acepta de buen grado ser mi codirector de tesis junto con el Dr. José Manuel García. Entre los tres decidimos que podría ser interesante investigar y ampliar el conocimiento en el deporte del Brazilian Jiu-jitsu, debido a mi alta motivación hacia este deporte, a la limitada investigación científica existente en esa fecha, y a las prometedoras perspectivas de desarrollo del mismo.

Villamil (2009) define un artículo científico como el proceso sistemático, organizado y objetivo, cuyo propósito es responder a una pregunta o hipótesis y así aumentar el conocimiento sobre algo desconocido. Tomando como referencia esta definición, trazamos el camino a seguir en el ilusionante proyecto que supone para todo investigador en Ciencias de la Actividad física y Deporte, la tarea de caracterizar física y fisiológicamente un deporte prácticamente inexplorado a nivel científico, mediante la realización de 4 estudios aplicados. En primer lugar, nos acercamos a la competición para observar de primera mano que tipo de trabajo, tanto físico como fisiológico, estaban realizando los atletas. Con tal objeto, diseñamos dos estudios descriptivos para llevarlos a cabo en una competición de nivel internacional como fue el *European Open* de Brazilian Jiu-jitsu celebrado en Lisboa en el año 2013. Una vez obtenido el conocimiento científico sobre el deporte de competición, abordamos la segunda parte de nuestro proyecto, en la que pretendíamos mejorar el rendimiento de los atletas mediante la aplicación de dos estudios experimentales. Para conseguir este objetivo, y con la colaboración y asesoramiento del Dr. Juan del Coso, analizamos si la ingesta de una cantidad moderada de cafeína conseguiría mejorar el rendimiento de los atletas en este deporte, tanto en la aplicación de test específicos como durante el propio combate.

Si las conclusiones obtenidas o alguna de las aplicaciones prácticas que se extraen del trabajo pueden resultarle de interés a algún estudiante, deportista, entrenador, o científico del deporte, sin duda el esfuerzo realizado habrá merecido la pena.

2.2 Brazilian Jiu-jitsu como deporte de lucha y combate

2.2.1 Historia

El ju-jutsu se cree que tiene sus orígenes en India durante los siglos V y VI A.C., Monjes budistas preocupados por su propia defensa desarrollan estas técnicas basándose en los principios del equilibrio, el conocimiento del cuerpo, sus límites articulares y evitando el uso de armas. Este arte de defensa recibió el nombre de Vajramashti, sus técnicas no buscaban atacar, sino más bien neutralizar las acciones de los atacantes para ser coherentes con sus dogmas religiosos que promovían una vida pacífica. El Vajramashti se extiende junto con el budismo en su expansión desde la India a lo largo del continente asiático, y se fue ramificando, dando origen a varios estilos de lucha oriundos de diversas zonas. De esta forma, fue llevado a China, primer país en tener contacto con él y posteriormente a Japón. En el país del sol naciente este arte encontró las condiciones culturales para evolucionar y desarrollarse técnicamente. En la época feudal (1000-1500 d.C.), nace la figura de los samuráis. Los señores feudales preocupados por su protección, utilizaban a estos guerreros para que se encargaran de su defensa. Los samuráis portaban espadas y combatían hasta la muerte protegiendo a sus señores, por lo que aparece la necesidad de desarrollar técnicas que pudiesen ser utilizadas cuando perdiesen la espada en el desarrollo del combate. El ju-jutsu ("arte suave") surge por tanto, como método de defensa cuerpo a cuerpo desarrollado por estos guerreros samuráis. En japonés el término ju-jutsu es representado por dos ideogramas: "ju", que significa suave y "jutsu", que significa técnica o arte. Con el fin de la era feudal en Japón, la restauración Meiji (1868), trajo la civilización occidental y la modernización del país. Cabe destacar la figura de Jigoro Kano, pedagogo muy interesado por los deportes y conocedor de varias escuelas de ju-jutsu, que logra sistematizar las técnicas de este arte marcial japonés y crear el judo (camino de la suavidad) en 1889 (Guimaraes, 2006; Gurgel, 2006; Villamon, 1997).

En 1914, el profesor Mitsuyo Maeda (Conde Koma) alumno de Jigoro Kano, experto en judo y ju-jutsu, llega a Brasil, y enseña las técnicas aprendidas de Ja-

pón a Carlos Gracie. Helio Gracie, hermano de Carlos, aprende este tipo de lucha y modifica las técnicas existentes adaptándolas a su biotipo delgado y pequeño, con el objetivo de que fueran lo más eficientes posibles. Los hermanos Gracie son los creadores e impulsores de lo que se conoce hoy en día como Brazilian Jiu-jitsu (BJJ) (Gracie & Gracie, 2000; Guimaraes, 2006). En el BJJ predominan las técnicas de lucha cuerpo a cuerpo sobre la imposición de la fuerza muscular, promueve la idea de que alguien más pequeño y débil puede defenderse con éxito contra alguien más pesado y fuerte utilizando las técnicas adecuadas. El objetivo es llevar al oponente al suelo, de tal forma que se priorizan el uso de los principios biomecánicos, como el momento de fuerza o la distribución de masas, intentando anular al oponente optimizando el uso de la fuerza aplicada. Para conseguirlo se utilizan técnicas de control como inmovilizaciones, y técnicas de sumisión cuya finalidad es que el adversario se rinda mediante la utilización de luxaciones y estrangulaciones (Ide & Padilha, 2005). Por tanto, se puede sugerir que el BJJ es el resultado de ceder inicialmente para en último lugar, obtener una victoria completa de un modo económico (Rigatto, 2008).

El año 1993 fue uno de los más importantes para la divulgación de BJJ como arte de defensa, se crea en Estados Unidos el primer evento de Artes Marciales Mixtas o *Mixed Martial Arts* (MMA) llamado *Ultimate Fighting Championship* (UFC). Después de este suceso, el número de practicantes se incrementó drásticamente, ya que se demostraba la eficacia de la lucha de suelo, que es en la que se basa este deporte, con respecto a otras artes marciales. Este hecho influyó directamente en la vertiente deportiva del BJJ. En 1996 se creó el primer campeonato del Mundo de BJJ en Rio de Janeiro y debido a su popularización desde 2007 se realiza anualmente en Estados Unidos (Guimaraes, 2006; Jones & Ledford, 2012).

Para concluir este apartado, podemos comentar que el Brazilian Jiu-jitsu tiene unas características peculiares que lo diferencian de cualquier otro arte marcial o deporte de combate practicado en otro país, de ahí lo adecuado de su denominación.

2.2.2 La competición en BJJ. Objetivos y características

Actualmente, el BJJ deportivo es una modalidad de lucha en la que se utiliza un uniforme o *gi*, cuyo objetivo es proyectar o conseguir llevar al adversario al suelo; una vez allí, se busca el control del mismo a través de diferentes técnicas de inmovilización, estrangulación y palancas articulares. En caso de ausencia de finalización o sumisión, al término de la lucha se declara el vencedor por el número de puntos conquistados (Del Vecchio, Bianchi, Hirata, & Chacon-Mikamil, 2007).

Las puntuaciones según el reglamento de la IBJJF (International Brazilian Jiu-Jitsu Federation, 2014) (Figura 1), están establecidas de la siguiente manera:

- Cuatro puntos, cuando el luchador atacante consigue estabilizar en la posición de “montada” o logra el control de la espalda del adversario.
- Tres puntos, cuando el luchador atacante “pasa la guardia” y logra estabilizar la posición aplicando una inmovilización.
- Dos puntos, cuando ambos contendientes se encuentran en pie y se produce una proyección del oponente al suelo, cuando se produce un “raspado” (el luchador atacante se encuentra por debajo del adversario y consigue invertir la posición) o cuando se estabiliza la posición de “rodilla en barriga”.

4 puntos	3 puntos	2 puntos
Montada Montada en espalda Control de espalda	Pase de Guardia	Proyección Raspado Rodilla en barriga

Figura 1. **Puntuación oficial reglamento IBJJF.**

También existen ventajas y sanciones que están valoradas con un punto, pero en un rango inferior a las acciones anteriores. En cuanto a los cinturones y categorías de peso, en adulto existen 5 cinturones: blanco, azul, morado, marrón y negro. La duración de una lucha en un campeonato oficial (IBJJF) oscila entre desde 5 minutos de los cinturones blancos hasta 10 minutos para los cinturones negros. Existen 9 categorías de peso: Absoluto (sin límite de peso) Ultra pesado (+100, 5 kg). Superpesado (-100.5 kg). Pesado (-94,3 kg). Medio pesado (-88,3 kg). Ligero (-76 kg). Pluma (-70 kg). Pluma ligera (-64 kg). Gallo (-57 kg). Todos estos pesos incluyen el *gi*, traje o *kimono*. Las dimensiones del tatami van desde los 64 m² como mínimo hasta los 100 m² de máximo, incluyendo un área de seguridad (Figura 2).

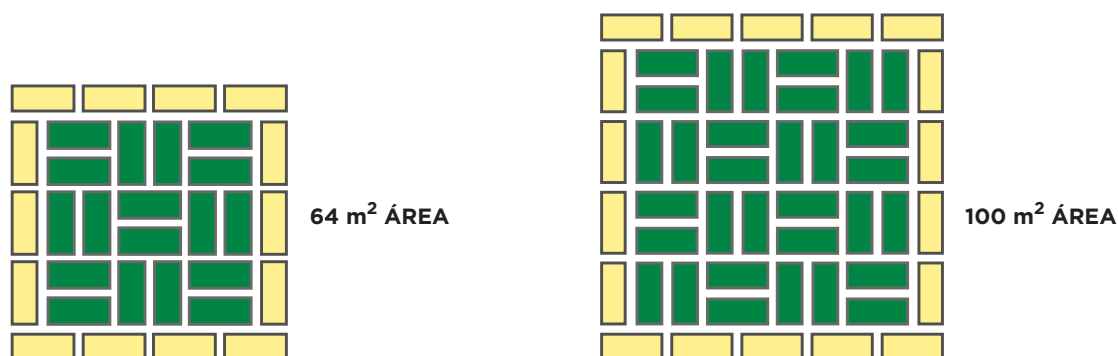


Figura 2. **Dimensiones del tatami**

En BJJ se realizan diferentes competiciones a nivel internacional, actualmente se están desarrollando competiciones en las que no existen puntos, sólo sumisión, los atletas son invitados por la organización y el tiempo de combate suele ser más elevado (ej. 20 minutos). Podemos destacar: Metamoris, Copa Podio, Polaris etc. Nosotros vamos a centrar el conocimiento científico en las competiciones reguladas por la IBJJF, que es la más extendida a nivel mundial, y en la que participan el mayor número de atletas. En el presente año 2015 han contado con la participación de más 3000 atletas de todo el mundo en su campeonato abierto de Lisboa.

Parte Teórica. Conocimiento Científico

*"Cree a aquellos que buscan la verdad.
Duda de los que la encuentran"*

André Gide



Este apartado se dividirá a su vez en dos subapartados, en primer lugar, vamos a analizar las publicaciones científicas que existen en la actualidad sobre el Brazilian Jiu-jitsu, y posteriormente se realizará un recorrido en el que observaremos la eficacia de la cafeína en relación con el rendimiento deportivo en diferentes actividades y especialidades deportivas, intentando comprobar si esta sustancia puede ser una ayuda ergogénica en los deportes de lucha y combate de forma general y en el Brazilian Jiu-jitsu en particular.

3.1 Brazilian Jiu-jitsu y rendimiento deportivo

La evaluación del nivel de condición física y fisiológica de un atleta es una de las variables más importantes del proceso de entrenamiento (Taylor & Brassard, 1981). En este sentido, cobra una relevancia clave la identificación de variables específicas que tengan una gran conexión con el rendimiento de los atletas en un deporte concreto. Una vez identificadas las variables, Balsalobre-Fernández (2015) propone optimizar el proceso de entrenamiento mediante la cuantificación de sus cargas, y su relación con el estado de forma, la fatiga y el rendimiento de los deportistas.

A pesar de que miles de atletas practican BJJ en todo el mundo, existen todavía muy pocas investigaciones científicas que traten de entender las demandas físicas y fisiológicas de este deporte (Andreato et al., 2011; Jones & Ledford, 2012). Por este motivo a lo largo de este apartado, se utilizarán también datos de modalidades afines como judo y lucha libre olímpica para poder contextualizar el deporte y realizar comparaciones.

3.1.1 Estructura temporal de un combate

El judo, la lucha libre olímpica y el BJJ, son los más deportes de agarre más populares en la actualidad, además comparten características físicas y fisiológicas. De manera resumida, se caracterizan por esfuerzos intermitentes, en los que se realizan contracciones máximas, tanto isométricas como dinámicas para superar la oposición del rival, intercalados por cortos períodos de pausa y esfuerzos de intensidad menor (Franchini, Artioli.G, & Brito, 2013; Garcia-Pallares, Lopez-Gullon, Muriel, Diaz, & Izquierdo, 2011; Pereira et al., 2011).

Específicamente durante una lucha de BJJ, los atletas realizan esfuerzos de alta intensidad, tanto con miembros inferiores como con los superiores, intercala-

dos con esfuerzos de menor intensidad y cortos períodos de pausa (generalmente producidas porque los atletas se salen de la zona delimitada) (Del Vecchio et al., 2007). En el año 2007 se publicó el primer análisis de la estructura temporal de un combate en BJJ. Se analizaron 33 combates durante la copa del Mundo de 2005, y se estudiaron las acciones motrices más utilizadas durante los mismos. En cuanto a la temporalidad de las acciones motrices, cabe destacar el hecho de que el tiempo de lucha en el suelo fue 6 veces superior al tiempo de lucha en pie (145.67 ± 118.51 s vs 25.44 ± 17.12 s respectivamente). Los autores de la investigación, también analizaron el tiempo de esfuerzo en relación al tiempo de recuperación o descanso, por lo que una lucha de BJJ comprende períodos de ~170 s de actividad seguidos de pausas de 13 ± 6 s. Estos datos se traducen en un ratio de esfuerzo/descanso de aproximadamente 10:1. En cuanto a las acciones motrices o técnicas más utilizadas en competición, las que generan mayor puntuación entre los pesos más livianos o leves (-70 kg) serían la técnica de "raspado", seguida del "pase de guardia". Entre los más pesados (+70 kg), predominan las proyecciones y los "pases de guardia" (Del Vecchio et al., 2007). Andreato et al. (2013) añaden más datos acerca de la temporalización de un combate. Analizaron 22 luchas de BJJ en un torneo regional. Estos autores incluyen la variable de la intensidad del esfuerzo y contabilizan como acciones de alta intensidad, aquellas que son menores de 3 s de duración. El ratio de esfuerzo/descanso para acciones intensas sería de 6:1; sin embargo, teniendo en cuenta las acciones realizadas a baja intensidad, el ratio aumenta hasta 8:1. Los bloques de baja intensidad ~ 25 s estarían intercalados por bloques de alta intensidad de ~ 3 s de duración. Por último, ofrecen el dato de tiempo medio de pausa en un combate (ej. ~ 33 s).

Andreato et al. (2015) publican una nueva investigación, en la que de nuevo se analiza la estructura temporal y las acciones técnicas que realizan 10 atletas durante una competición simulada de Brazilian Jiu-jitsu (4 combates de 10 min con 20 min de descanso entre combates), aplicando las reglas y pausas propias de la competición (IBJJF). Los resultados obtenidos, ofrecen dos conclusiones muy interesantes en relación a la estructura temporal, considerando períodos de esfuerzo, pausas, y esfuerzos de alta y baja intensidad a lo largo de los 4 combates. Por un lado, los resultados obtenidos son similares a los registrados en su anterior trabajo (Andreato et al, 2013) en relación al ratio de esfuerzo/descanso (ej. 8:1), y en cuanto a la relación de los bloques de esfuerzo de baja intensidad (ej. ~ 30 s) intercalados por bloques de alta intensidad (2-4 s). En este último estudio, el tiempo de pausa por bloque también ronda los ~30 s. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas en la citada estructura temporal, ni en los minutos finales de los combates, ni durante el desarrollo del campeonato simulado (ej. 4 combates sucesivos). Teniendo en cuenta los datos de la investigación de Andreato et al. (2015), a conti-

nuación se muestra una ilustración en forma de esquema para poder interpretar la estructura temporal de un combate (Figura 3).

10 min. de combate

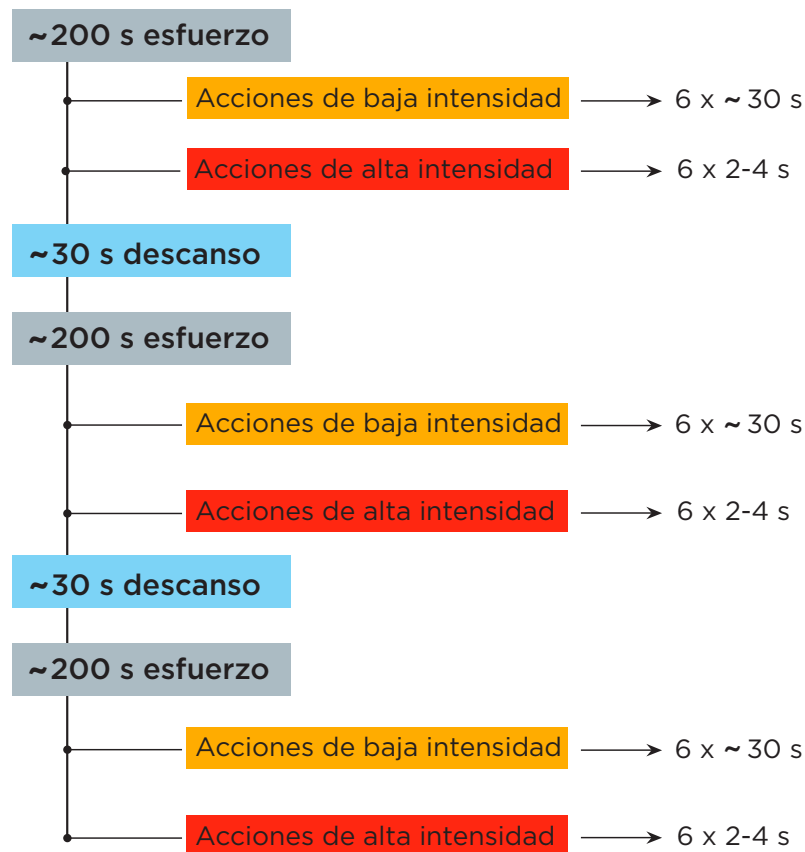


Figura 3. Desglose de la estructura temporal, tomando como referencia combates simulados de 10 min de duración. Figura creada basándonos en los datos de Andreato et al. (2015).

Los citados ratios de esfuerzo/descanso, suponen una diferencia notable con respecto a otros deportes de lucha y combate similares como el judo, con períodos de 20-30 s de lucha y 10 s de descanso, por lo que su ratio de esfuerzo/descanso se sitúa en 2:1, 3:1 (Casterlanas & Planas, 1997; Franchini et al., 2013) o la lucha grecorromana, que con períodos de 37 ± 10 s con 14 ± 6 s de descanso, obtiene un ratio aproximadamente de 3:1 (Nilsson, Csargo, Gullstrand, Tveit, & Refsnes, 2002). Estamos de acuerdo con Franchini et al. (2013), en que el ratio esfuerzo/descanso, si viene acompañado del análisis de los diferentes grupos musculares que están implicados en las acciones de un combate, puede ser una excelente referencia para

organizar el entrenamiento y la planificación de un atleta, ya que podemos deducir el coste energético al que se ven sometidos los atletas.

3.1.2 Composición corporal

El conocimiento y control de la composición corporal es de vital importancia en los deportes de combate, debido fundamentalmente a la existencia de categorías de peso. Sin embargo, existen dos dificultades esenciales a la hora de abordar este tema en el deporte que estamos tratando, por un lado, la falta de investigaciones publicadas en revistas indexadas acerca del perfil morfológico de los atletas de BJJ, y por otro lado, la homogenización concerniente al período de entrenamiento de los atletas y los diferentes métodos de estimación de la grasa corporal y el porcentaje de músculo (Andreato, Franchini, Franzoi de Moraes, & Del Conti Esteves, 2012a). Por esta razón, se van a utilizar datos de modalidades afines como judo y lucha libre olímpica para completar este apartado (Tabla 1).

Encontramos en la literatura dos estudios que analizan la composición corporal de los atletas de BJJ. El resumen de ambos es que los atletas de BJJ tienen un componente mesomórfico predominante, bajos porcentajes de grasa, similares a otros deportes de combate como la lucha libre olímpica y el judo (Andreato et al., 2012a; Del Vecchio et al., 2007). Báez et al. (2014) en una reciente investigación sobre las características antropométricas de los atletas de BJJ, abre una interesante línea de investigación, con una muestra de 25 atletas altamente entrenados, este estudio divide a los luchadores en función de su estilo de lucha. Por un lado los denominados “*pass fighters*” (luchadores pasadores) y por otro “*guard fighters*” (luchadores que trabajan desde la posición de guardia o luchadores *gardeiros* en portugués). Mientras los que los “luchadores pasadores” se encuentran en una posición superior, intentando romper o abrir la guardia del rival, para progresar en la lucha dominando al compañero, consiguiendo puntos o ventajas, los “luchadores *gardeiros*” trabajan sentados o tumbados, defendiendo su posición e impidiendo que el adversario llegue a inmovilizarlos, pudiendo realizar desde su posición de guardia ataques o contraataques como raspados (volteos) y finalizaciones o sumisiones (Figura 4).



Figura 4. Luchador trabajando en la posición de guardia vs luchador pasando la guardia.

Se observó que los componentes del somatotipo pueden variar significativamente en relación a los estilos de lucha, los “luchadores pasadores” muestran un componente mesomórfico más alto y un componente ectomórfico más bajo que los “luchadores *guardeiros*” (Báez et al., 2014). Por lo tanto, el análisis de las características antropométricas de un luchador puede ayudar a decidir el estilo de lucha que mejor se adapte a sus condiciones, siendo los luchadores *guardeiros* más ectomorfos (ej. delgados con extremidades largas) y los luchadores pasadores más mesomorfos (ej. cuerpo más atlético y musculado).

Tabla 1. Porcentaje de grasa corporal de los atletas de Brazilian Jiu-jitsu y otros deportes de lucha afines.

Referencia	Atletas	N	Edad (años)	Peso (kg)	% Grasa	Período	Método
Andreato et al. (2012)	Atletas de élite BJJ	11	25.8 ± 3.3	83.1 ± 8.7	10.3 ± 2.6	P	SFT
Del Vecchio et al. (2007)	Atletas de élite BJJ	7	25.3 ± 2.9	78.9 ± 12.2	9.8 ± 4.2	NR	SFT
Vardar et al. (2007)	Lucha Turquía	8	17.3 ± 0.9	73.2 ± 17.7	9.7 ± 6.3	PC	BIO2F
Franchini et al. (2007)	Judo Brasil Equipo A	7	25.6 ± 4.0	90.6 ± 23.8	11.4 ± 8.4	PC	SFT
	Judo Brasil Equipo B	15	25.5 ± 4.6	86.5 ± 16.3	10.1 ± 5.7	PC	SFT
Thomas et al. (1989)	Judo Canadá	22	24 ± 4	75.4 ± 12.3	9.3 ± 2.1	PC	SFT
Kraemer et al. (2001)	Lucha USA	12	19.3 ± 1.2	75.3 ± 2.5	7.3 ± 0.7	NR	SFT

NR = no registrado; SFT = Plicometría; BIO2F = Bioimpedancia 2 Pies

PC = Pre-competitivo; P = Preparatorio

Observando los datos de la Tabla 1, podemos comprobar que solamente una investigación en BJJ (Andreato et al., 2012a), ofrece el momento de la temporada en que se recogieron los datos (ej. período preparatorio). Una investigación interesante podría ir encaminada a realizar un estudio de composición corporal en este deporte

dentro del período precompetitivo, o incluso instantes antes de salir a competir, para analizar de manera más precisa la composición corporal del luchador en competición, ya que como veremos a continuación, existen fluctuaciones de peso que influyen de manera directa en la composición corporal de los luchadores hasta instantes antes del pesaje de la competición.

La búsqueda del peso de competición puede llegar a afectar a los deportistas tanto en la práctica de sus entrenamientos precompetitivos, como en la propia competición. Steen y Brownell (1990) en un estudio con luchadores olímpicos norteamericanos ($n=63$), explican que el 41% de los atletas sufrieron fluctuaciones de peso entre 5.0 y 9.1 kg en una semana. Brito, Souza, y Roa (2009) investigaron a 120 atletas de BJJ (14 mujeres y 106 hombres) en el período pre-competitivo e identificaron que el 29% de ellos hacía algún tipo de reducción de grasa y pérdida de peso en este período.

Estas reducciones de peso, a menudo llevan implícitas una restricción de líquidos o deshidratación. Entre las diversas formas de deshidratarse, podemos distinguir las que se realizan por medio de saunas o baños de vapor, correr muy abrigados, o incluso utilizando plásticos sobre la piel. Por otro lado, se situarían las que se realizan mediante la restricción aguda de ingesta de líquidos. Estos métodos pueden influir negativamente en el deportista y afectan directamente a su rendimiento, más cuanto mayor es el porcentaje de deshidratación (Andreato et al., 2012a; Da silveira, 2006). Judelson et al. (2007) indican en relación a la deshidratación, que la disminución de un 3-4 % del peso corporal puede reducir aspectos tan fundamentales en los deportes de combate, como la fuerza muscular en un 2%, la potencia en un 3% y la resistencia muscular durante esfuerzos máximos (30-120 s.) en torno a un 10%. Silva, Fields, Heymsfield, y Sardinha (2010) analizando a 27 judokas de élite, encontraron correlaciones entre la pérdida de agua corporal total, la pérdida de agua intracelular y la reducción de potencia en los miembros superiores. En esta misma línea Calvo Rico, García, y Monteiro (2013) en una investigación realizada con judokas y luchadoras de élite ($n=19$), observaron disminuciones significativas de fuerza y potencia, relacionados con cambios en la composición corporal que tenían lugar en períodos próximos a la competición. Estos mismos autores hablan de una adecuada planificación de la relación entre el peso de competición y el peso de entrenamiento y marcan una serie de pautas que el luchador/a debería tener en cuenta:

- En primer lugar un estudio antropométrico del deportista tras el mesociclo introductorio de la etapa básica de entrenamiento para eliminar la grasa hasta reducirla a un 10% del peso corporal.

- Controlar al atleta al finalizar el ciclo de mejora de la fuerza dinámica máxima vía hipertrofia para comprobar que con ese 10% el/la deportista aun está dentro del peso de competición
- Hacer que el/la deportista no rebase en ningún caso durante el ciclo de entrenamiento el 5% de su peso de competición.
- Cuatro semanas antes del objetivo final de competición establecer un programa de reducción de peso sin influir en los estados de hidratación para que no exista pérdida de fuerza inducido por ésta (Calvo Rico et al., 2013).

3.1.3 Potencia y Capacidad Aeróbica

La potencia aeróbica máxima o $VO_{2máx}$ es una medida que reproduce la capacidad del sistema cardiovascular de liberar sangre a una gran masa muscular que está realizando un trabajo dinámico (Powers & Howley, 2014). Es el mejor parámetro fisiológico para evaluar el nivel de la capacidad funcional del sistema cardiorrespiratorio, siendo constantemente utilizado para obtener un patrón que puede ser utilizado como referencia en la evaluación de la condición física o bien, para la prescripción del entrenamiento de resistencia (Bassett & Howley, 1997; Hill, Poole, & Smith, 2002). La capacidad aeróbica es la capacidad máxima de transportar y utilizar oxígeno. Es un importante indicador de aptitud física cardiovascular y marca el límite en el cual empieza a predominar el metabolismo anaeróbico (Powers & Howley, 2014).

Casterlanas y Solé (1997) analizando fundamentalmente el perfil de judokas y luchadores olímpicos explican que disponer de un buen $VO_{2máx}$, comportará al luchador varios beneficios, tales como que pueda mantener una intensidad elevada de trabajo durante el combate, que pueda retrasar la aparición de concentraciones de lactato elevadas, y facilitarle la recuperación entre combates y entre las pausas de los mismos.

En cuanto a los valores de potencia aeróbica en BJJ, en la literatura solamente hemos encontrado dos investigaciones que la hayan analizado. Andreato et al. (2011) utilizando un protocolo en tapiz rodante con una muestra de 11 atletas de élite obtienen valores de $49.4 \pm 3.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. En la segunda investigación, Mazzocante et al. (2011) encuentra valores en torno a $52 \pm 6.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ en atletas de BJJ físicamente activos. Estos valores pueden considerarse bajos en relación a atletas de judo y luchadores (Callister et al., 1991; Horswill et al., 1992; Little, 1991) como observamos en la Tabla 2.

Tabla 2. Consumo de oxígeno máximo en judokas y luchadores.

Referencia	Muestra	N	Edad	VO _{2máx} (ml/kg/min)	Test
Thomas et al. (1989)	Selección Judo Canadá	22	24 ± 4	59.2 ± 5.2	Treadmill
Little et al. (1991)	Judokas junior	9	17.3 ± 0.8	59.3 ± 4.0	Treadmill
	Judokas senior	17	26.0 ± 5.3	53.8 ± 5.6	
Callister et al. (1991)	Selección Judo EEUU	18	24.4 ± 0.9	55.6 ± 1.8	Treadmill
Horswill et al. (1992)	Luchadores Élite Junior	18	17.0 ± 0.2	52.6 ± 2.0	Treadmill
	Luchadores Élite Senior	14	25.6 ± 3.3	50.9 ± 5.1	

Andreato et al. (2011) explican que las diferencias en potencia aeróbica entre BJJ y otros deportes de combate similares, son debidas a que los esfuerzos cortos de gran intensidad seguidos por breves periodos de recuperación, son más efectivos para desarrollar la potencia aeróbica comparadas con esfuerzos más continuos. Además, estos pequeños intervalos son insuficientes para la resíntesis del fosfato de creatina, que causa la activación del sistema anaeróbico al principio de la lucha y el sistema aeróbico hacia el final de la misma. En otras palabras, los altos valores de potencia aeróbica en atletas de judo y luchadores pueden ser explicados por el hecho de que los combates de BJJ duran 10 minutos, mientras que los combates de judo y lucha olímpica duran generalmente 5 minutos, a no ser que tengan tiempo extra. Por tanto, combates más largos pueden tener como consecuencia un menor VO_{2máx} (potencia aeróbica) y un umbral anaeróbico más elevado (capacidad aeróbica) (Andreato et al., 2011). Bajo nuestro punto de vista, es posible que sea necesaria más investigación sobre la potencia y capacidad aeróbica de los atletas de BJJ, para poder contrastarla con un deporte como el judo, debido a que al estar este último dentro del ciclo olímpico, es lógico pensar que tenga una mejor planificación de la capacidad de resistencia desde las edades más tempranas. Garcia (2012) hace una revisión sobre los estudios publicados sobre VO_{2máx} en judo, y explica que para tener éxito en la etapa de máximo rendimiento, los judokas deben disponer de unos parámetros cercanos a 55 ml · kg⁻¹ · min⁻¹. Para alcanzar estos valores, en las etapas anteriores los atletas

deberían haber tenido unos valores situados en un rango de $60\text{-}65 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Por tanto, y teniendo en cuenta la evolución del entrenamiento, de cara a la planificación en las etapas junior y juvenil, la carga bajo suministro de energía aeróbica debe superar ampliamente la carga de trabajo anaeróbica. Investigaciones de este tipo en BJJ, podrían ayudar a la planificación y el control de las cargas de entrenamiento desde las edades más tempranas hasta que los atletas alcancen la categoría sénior o adulto.

3.1.4 Potencia y Capacidad Anaeróbica

La potencia anaeróbica representa la capacidad de trabajo de un grupo muscular localizado, independientemente del suministro de sangre y oxígeno. Está a su vez, está determinada por la capacidad de aceleración, por la velocidad máxima y por la capacidad de soportar la fatiga (Foss, Keteyian, & Fox, 1998). Tanto la capacidad anaeróbica como el pico de potencia describen la capacidad glucolítica de un atleta (Popadic Gacesa, Barak, & Grujic, 2009).

Para su evaluación es esencial que el test que se aplique, involucre a los grupos musculares implicados en el deporte y que incluya las vías energéticas utilizadas en competición. Los test pueden ser de dos tipos, por un lado de duración ultracorta, los cuáles son indicados para evaluar la capacidad máxima del sistema de los fosfágenos, y los test de duración corta, que pretenden evaluar la capacidad máxima del sistema de glucólisis anaeróbica (Powers & Howley, 2014).

El test más utilizado en laboratorio, desde la introducción de su prototipo por Ayalon en 1974, es el Wingate. Este test permite evaluar el rendimiento anaeróbico o analizar respuestas a ejercicios supramáximos realizados con un esfuerzo estandarizado. El test Wingate se realiza pedaleando con miembros inferiores o superiores ("arm cranking": acción de los brazos en movimientos giratorios constantes ejecutados contra una fuerza, con los brazos flexionados) durante 30". La velocidad debe ser máxima y se realiza contra una fuerza constante (Bar-Or, Dotan, & Inbar, 1977).

En relación con los deportes de lucha, la potencia y la capacidad anaeróbica están asociadas a movimientos rápidos y explosivos durante un combate, para permitir el control del adversario (Pereira et al., 2011). En luchadores olímpicos, utilizando el test de Wingate para miembros superiores, se midió la potencia anaeróbica (ej. pico de potencia en Wingate) y la capacidad anaeróbica (ej. potencia media mantenida durante 30 s). Entre las conclusiones del estudio, los autores indican que los datos encontrados en el test de Wingate para miembros superiores no son específicos para la lucha, pero pueden ser un indicador razonable de rendimiento que además permite discriminar entre luchadores de élite y amateurs (Garcia-Pallares et al., 2011).

Un atleta de BJJ necesita tener un buen sistema glucolítico de producción de energía, que puede ser constatado por las altas concentraciones de lactato sanguíneo encontradas en las situaciones de lucha (Pereira et al., 2011). Solamente hemos encontrado una investigación, que analiza la potencia anaeróbica con el test de Wingate para miembros inferiores. Del Vecchio et al. (2007) con una muestra de 7 atletas obtuvieron valores de potencia media y pico de potencia anaeróbica de $9.85 \pm 1.35 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ y $10.13 \pm 1.19 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ respectivamente. Estos datos son similares a los obtenidos por Szmuchrowski, Rodrigues, Fontes Corgosinho, y Pinheiro (2013) que con 17 judokas profesionales Brasileños, registraron datos de potencia media $8.39 \pm 1.07 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$, y de pico de potencia $10.84 \pm 1.40 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$. En este apartado, es lógico pensar que también podrían ser necesarios más datos relacionados con test máximos de potencia anaeróbica en atletas de BJJ, ya que una sola investigación y con una muestra tan corta se antoja insuficiente para observar la realidad de este deporte.

3.1.5 Indicadores de intensidad analizados en Brazilian Jiu-jitsu.

Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca (FC) es un buen indicador de la intensidad del ejercicio, fácil de monitorizar y de obtener mediciones, no requiere procedimientos costosos, además la FC tiene una alta correlación con el nivel de entrenamiento. Atletas con mejor condición física tendrán una mayor bradicardia en reposo y aumentos más pequeños en FC en cualquier nivel de esfuerzo, cuando los comparemos con atletas de menor nivel competitivo (Arruza, Saez, & Valencia, 1996). Sugawara, Murakami, Maeda, Kuno, y Matsuda (2001) añaden que el entrenamiento físico puede incrementar la diferencia entre la FC al final del ejercicio y en los instantes finales de la recuperación, lo cual va a contribuir a mejorar la preparación física y va a suponer un descenso del riesgo de mortalidad.

La FC puede incrementar bastante en los primeros segundos de inicio de la actividad, esto es debido al reflejo vagal de inhibición. Este tipo de situaciones, es común en deportes cuyos movimientos son explosivos y de corta duración como el judo o la lucha libre olímpica (Monteiro, 2013). Durante el ejercicio prolongado la FC acompaña el nivel de intensidad del esfuerzo, fundamentalmente en los ejercicios de carácter continuo. Los hechos también sugieren que los ejercicios de tonificación muscular implican una menor solicitud cardiovascular que aquellos de características predominantemente aeróbicas (Almeida, 2007).

Monteiro (2013) tras hacer una revisión sobre los incrementos de la FC en judo y BJJ, observa que de manera general la FC se incrementa inicialmente, y

posteriormente se mantiene estable durante la mayor parte del resto del ejercicio, aunque eso va a depender tanto del tiempo de actividad como de la intensidad. No obstante, debido a que son deportes de contacto, se perciben fases en las que se emplea el sistema anaeróbico, coincidiendo con esfuerzos explosivos e intermitentes, lo cual se vería reflejado con la visualización de diferentes picos ascendentes en la FC. Por último, aunque sean precisos más estudios que ayuden a entender los mecanismos de regulación de la FC durante un combate, esta variable nos va a permitir monitorizar y establecer intervalos de entrenamiento tanto aeróbico como anaeróbico, siendo ambos niveles extremadamente importantes para un buen desempeño de esta actividad deportiva.

Algunas investigaciones han mostrado unos datos moderados de FC durante combates simulados de BJJ. Andreato, Franzói de Moraes, y Esteves (2012b) obtienen valores de 165 ± 17 pulsaciones/minuto (p/min); Franchini, Bezerra, Oliveira, Souza, y Oliveira (2005a) registran frecuencias cardíacas de 169 ± 7 p/min. Sin embargo, Del Vecchio et al. (2007) en competición oficial (ej. Copa del Mundo de 2005) registran valores superiores (182 ± 6 p/min). Esta diferencia en la FC puede ser debida a que el entorno competitivo puede aumentar la tensión impuesta a los atletas en diferentes deportes, debido a las exigencias psicofisiológicas adicionales (Haneishi et al., 2007; Moreira et al., 2012). En cuanto a la recuperación de la FC, Andreato et al. (2012b) explican que 14 minutos no son suficientes para que el atleta de BJJ retorne a los valores iniciales de reposo, pero sí bastan para que alcance los niveles obtenidos durante el calentamiento.

Ratio de esfuerzo percibido

El ratio de esfuerzo percibido (RPE) es una forma de medir el estrés de los atletas, y una herramienta útil para controlar la carga de entrenamiento (Borg, 1982). Para este tipo de evaluación se usa una escala sencilla y accesible, que ha venido utilizándose comúnmente en los últimos años tanto en deportes de combate como en muchos otros. Puede proporcionar de manera indirecta, valiosa información sobre el grado de fatiga y las demandas de actividad energética (Nilsson et al., 2002).

En la literatura encontramos varias investigaciones que han utilizado este test al finalizar un combate de BJJ. Con una escala de 6 a 20, en la que el mínimo valor significaba “muy ligero” y el máximo “muy duro”; Franchini et al. (2005a) durante 10 min de luchas simuladas registraron valores de 13 ± 4 RPE, es destacable el hecho de que en esta investigación el RPE más elevado fue en la región de los antebrazos. Andreato et al. (2012b) durante 7 min de combates simulados obtuvie-

ron valores de 12 ± 2 RPE. Sin embargo, Andreato et al. (2013) encuentran mayores valores durante combates oficiales 15 ($13 - 15$) RPE, similares a los obtenidos por (Nilsson et al., 2002) que estudiaron a luchadores olímpicos durante el campeonato del Mundo de 1998 (14 ± 3 RPE). Al igual que sucede con la FC, es muy probable que el estrés que rodea a una competición, unido a una mayor exigencia, tanto física como fisiológica, producida por el mayor nivel de competitividad de un campeonato oficial, hagan que se incrementen los valores en el ratio de esfuerzo percibido.

Daño muscular

El daño muscular se puede evaluar mediante la medición de los marcadores de los niveles séricos que se originan en el sarcolema. Entre los marcadores bioquímicos más utilizados para identificar el daño celular muscular, se utiliza la creatina quinasa (CK) (Clarkson, Nosaka, & Braun, 1992), pero otros biomarcadores, como la aspartato aminotransferasa (AST), alanina aminotransferasa (ALT), creatinina, lactato y lactato deshidrogenasa (LDH) también pueden proporcionar datos relevantes sobre el daño celular (Bessa et al., 2008). Andreato et al. (2012b) sugieren que una lucha de BJJ puede causar daño muscular en los atletas porque, a pesar de que no se encontraron cambios en CK, AST y creatinina, si se observaron incrementos significativos en otros biomarcadores (ej. ALT y LDH). Existen otras dos investigaciones que confirman la existencia de daño muscular en atletas de BJJ, pero además aplican un tratamiento de crioterapia para atenuar sus efectos. Santos et al. (2012) observaron que la inmersión a en una piscina baja temperatura ($5 \pm 1^\circ \text{C}$) durante 19 minutos después de un entrenamiento de 90 minutos (calentamiento, ejercicios de técnica y 30 min de combates), produjo una reducción significativa de CK y LDH, hipoalgesia y una mejor conservación de resistencia de fuerza en el agarre en el *gi* o traje (ej. test de permanencia de agarre o MSL). Júnior et al. (2014) utilizando la misma metodología en relación al tratamiento de crioterapia, también observaron menor daño muscular (CK y LDH) en atletas de BJJ después de 4 combates simulados de 7 min con 15 min de descanso. Además encontraron una correlación negativa entre los niveles de CK y LDH y la resistencia a la fuerza de agarre en el *gi* (ej. test MSL), en otras palabras, la pérdida de agarre se atenuaba con la crioterapia a lo largo de los combates, debido a que este tratamiento disminuye los niveles de CK y LDH.

Perfil bioquímico, hormonal y sustratos energéticos

Coswig, Neves, y Del Vecchio (2013) observaron las diferencias en los perfiles bioquímicos, hormonales y hematológicos de atletas experimentados en BJJ, principiantes, y atletas activos sin experiencia en este deporte. A nivel hematológico se observan diferencias en cuanto al porcentaje de eosinófilos (leucocitos que atenúan o in-

terrumpen reacciones inflamatorias) entre atletas expertos e iniciantes. Estos resultados pueden ser explicados debido al nivel de entrenamiento, sobrecarga, y nivel competitivo que tienen los atletas expertos, como consecuencia de ello pueden sufrir lesiones e inflamaciones musculares con mayor frecuencia. Por otro lado, estos autores encontraron diferencias significativas en relación con alteraciones bioquímicas. En primer lugar, se observó que la capacidad total de ligación de hierro y la transferrina fueron significativamente menores en los atletas más experimentados. Se evidenció también, que el grupo de atletas experimentados tuvo niveles séricos de creatinina superiores a los otros dos grupos, no obstante, la mayor excreción de creatinina, además de estar influenciada por el ejercicio físico, está determinada por la dieta y por el estado emocional, por lo que los resultados de esta variable en relación a los efectos del entrenamiento sobre el tejido muscular es cuestionable (Coswig et al., 2013; Viru & Viru, 2001). Por último, estos autores también sugieren que la práctica de BJJ promueve adaptaciones positivas en la concentración de magnesio, posiblemente producidas por supercompensación en respuesta a las frecuentes pérdidas durante el entrenamiento (sudor y orina) en períodos de control de masa corporal (Coswig et al., 2013). Este dato es relevante, ya que el bajo contenido de magnesio afecta directamente al sistema inmunológico y puede conducir a la reducción del rendimiento durante el ejercicio (Bürguer-Mendonça, 2007).

Moreira et al. (2012) compararon muestras de saliva recogidas en 9 atletas de BJJ, antes y después de 2 luchas simuladas y 2 luchas oficiales en competición. Los autores analizaron las concentraciones de cortisol e inmunoglobulina de los atletas. Los resultados de este estudio confirman la hipótesis de que una competición real, puede incrementar el estrés hormonal en comparación con luchas simuladas o sesiones de entrenamiento. Además sugieren que el análisis de cortisol en saliva, puede ser un medio útil para monitorizar las cargas de entrenamiento en BJJ, incluso a largo plazo, como medio para optimizar la periodización de una temporada. Finalmente, se recomienda aumentar las estrategias de motivación y activación durante los entrenamientos para simular el nivel de estrés de una competición real.

Andreato et al. (2012b) con una muestra de 12 atletas de BJJ, analizaron los sustratos energéticos utilizados (glucosa, proteína y lípidos) mediante análisis sanguíneos tomados en reposo, después del calentamiento e inmediatamente después de una lucha simulada. Los autores no encontraron diferencias significativas en triglicéridos, sin embargo, el colesterol total, el colesterol de baja densidad y el colesterol de muy baja densidad marcaron tendencias de aumento después de la lucha. El colesterol de alta densidad se incrementó significativamente, lo que indica una pequeña contribución del metabolismo de los lípidos. Los autores sugieren que el glucógeno muscular no es sólo el único sustrato utilizado en este deporte.

El lactato como indicador de intensidad y fatiga

Existen algunas controversias en relación a este apartado. En primer lugar, sobre la creencia tradicional de que el lactato es el principal enemigo del atleta, y por otro lado, una más actual sobre si la acidosis es el principal factor de la fatiga muscular.

Si hablamos del primer debate, antes de 1970 atletas y entrenadores entendían el ácido láctico como un producto de desecho del organismo, que se producía por una falta de disponibilidad de oxígeno en los músculos que estaban implicados en el ejercicio. El ácido láctico fue conocido por la sensación “ardiente” que se producía durante el ejercicio intenso y por el consiguiente dolor muscular. Por este motivo, se le adjudicó la responsabilidad en la aparición de la fatiga. Sin embargo, el ácido láctico sólo se acumula dentro del músculo durante un periodo relativamente corto, y en ejercicios globales de elevada intensidad, como la carrera, natación de corta distancia o durante esfuerzos breves, intensos e intermitentes como en los deportes de lucha y combate. Por ejemplo, los corredores de maratón pueden tener los valores de lactato cercanos a los niveles de reposo después de haber acabado la prueba, a pesar de estar exhaustos (Wilmore & Costill, 2005). Por otro lado, es importante aclarar que el ácido láctico y el lactato no son la misma sustancia. El proceso de obtención de energía que utiliza la vía glucolítica, produce el ácido láctico, el cual se disocia rápidamente liberando iones de hidrógeno (H^+), el compuesto restante se va a combinar con los iones de sodio (Na^+) o iones de potasio (K^+), para formar una sal llamada lactato, que es la sustancia que habitualmente se mide a los atletas en el laboratorio (Wilmore & Costill, 2005). Además el lactato puede verse como una forma potencial de energía que es oxidada durante los ejercicios de media-baja intensidad, recuperación y descanso (Brooks, 1986). Apoyadas en estas afirmaciones las compañías de nutrición deportiva introdujeron el lactato de sodio en sus bebidas energéticas intentando demostrar que esta sustancia puede tener un efecto ergogénico (Cairns, 2006).

El segundo punto de controversia, está en relación a la acidosis como principal factor de la fatiga muscular. Robergs, Ghiasvand, y Parker (2004) concluyen en su revisión que la principal vía de producción de iones de hidrógeno H^+ en la musculatura (ocasionando una disminución de pH) sería la propia hidrólisis de ATP, por tanto, los incrementos de hidrógeno y la subsiguiente acidificación del entorno es consecuencia directa de la acidosis, teniendo un efecto perjudicial en la contracción muscular. Por lo que, la producción de lactato por la acción de la enzima lactato deshidrogenasa, en realidad, no contribuiría a la acidificación intramuscular. Sin embargo, estos autores concluyen que aunque el aumento en la concentración de

lactato no sea la causa principal, coincide con la acidosis celular, sirviendo como un buen indicador indirecto para determinar la fatiga. Por otro lado Cairns (2006) en otro artículo de revisión, indicó que en las investigaciones realizadas sobre músculos aislados, la acidosis no tenía un efecto tan negativo, es decir, que incluso podía mejorar el rendimiento deportivo en ejercicios de gran intensidad, sin embargo el mismo autor explica, que si bien cierta acidosis no presentaría un gran agravio, una acidosis compleja a nivel sanguíneo si puede dificultar el rendimiento, perjudicando la llegada de información al músculo por parte del sistema nervioso central (SNC). Finalmente, este autor también indica que la concentración de lactato en sangre es un marcador muy útil de la intensidad del ejercicio y de la adaptación al entrenamiento.

Por último, el lactato es también considerado como un importante sustrato energético para diversas células y tejidos, entre ellas las fibras musculares tipo I, el corazón y el hígado. Para ser utilizado por estas células, es necesario que sea transportado hacia la sangre, este transporte lleva consigo un ion de hidrógeno (H^+), por lo que acaba contribuyendo al mantenimiento del pH intracelular, por tanto, el mismo proceso de eliminación del lactato hacia la sangre resulta ser muy beneficioso para el organismo (Gladden, 2004). Según Juel (1996) la producción de lactato podría indicar la magnitud de la capacidad de producción de ATP por la vía anaeróbica láctica, y la capacidad de eliminarlo en sangre indicaría la capacidad de regulación del pH intramuscular.

Si hablamos específicamente de la relación del lactato sanguíneo con el deporte que tratamos, gran parte de la producción de energía durante una lucha de BJJ se basa principalmente en la vía glucolítica, porque como hemos visto anteriormente, el ratio esfuerzo/descanso no es suficiente para restablecer plenamente el sistema de los fosfágenos (Andreato et al., 2013). Por lo tanto, la capacidad para soportar valores bajos de pH, tanto intramusculares como sanguíneos, es crucial para mantener los valores de fuerza muscular y potencia, debido a la alta intensidad producida por los atletas en un combate oficial de BJJ (Jones & Ledford, 2012). En esta misma línea, Pereira et al. (2011) hace referencia a la capacidad de producción y eliminación de lactato, como uno de los aspectos determinantes en modalidades deportivas intermitentes como el BJJ. Esta capacidad podría optimizar el mantenimiento adecuado del pH frente a los esfuerzos de alta intensidad de la lucha, así como la reutilización del lactato como sustrato energético para las fibras tipo I. Por lo tanto la dinámica de producción/eliminación podría favorecer el mantenimiento de la capacidad de resistencia anaeróbica del atleta de BJJ (Pereira et al., 2011).

En la literatura encontramos varias investigaciones que han medido la máxima concentración de lactato durante luchas simuladas (Andreato et al., 2013; da

Silva et al., 2013; Franchini et al., 2005a). Estos estudios han encontrado concentraciones de lactato entre 9 y 12 mmol·L⁻¹, indicando una moderada activación de la vía glucolítica durante una lucha simulada de BJJ. Andreato et al. (2013) en una competición de nivel regional, también encuentra datos parecidos (10.1 ± 8.0 mmol·L⁻¹). Sin embargo, Pereira et al. (2011) encuentra un valor más elevado (14.2 ± 5.9 mmol·L⁻¹) durante luchas simuladas (Tabla 3). Estos datos aproximan la intensidad de los combates, a la de otros deportes similares como la lucha grecorromana y el judo, con unos valores máximos cercanos a los 15 mmol·L⁻¹ de media (Bonitch-Dominguez, Bonitch-Gongora, Padial, & Feriche, 2010; Nilsson et al., 2002).

Tabla 3. Máxima concentración de lactato sanguíneo en atletas de Brazilian Jiu-jitsu.

Referencia	Nivel atletas	N	Edad (años)	Combate	Concentración (mmol · L ⁻¹)	Aparato y µl de muestra
Andreato et al. (2012)	Internacional y Regional	12	27.1 ± 2.7	Simulado (7 min)	11.9 ± 5.8	Yellow Springs 25 µl
Andreato et al. (2013)	Regional	35	18 - 30	Oficial (5 - 10 min)	10.1 (8.0 - 11.3)	Accutrend 15 µl
Da silva et al. (2013)	No avanzados*	7	19.2 ± 4.5	Simulado (7 min)	10.2 ± 1.3	Accusport 25 µl
	Avanzados*	7	29.3 ± 2	Simulado (7 min)	10.4 ± 3.6	Accusport 25 µl
Pereira et al. (2011)	NR	7	30.4 ± 4.6	Simulado (7 min)	14.2 ± 5.9	Accusport 25 µl

*Avanzados: Cinturones marrones y negros; No avanzados: Cinturones azules y morados; NR: no registrado.

Debido a las diferencias encontradas en las investigaciones citadas en relación a las concentraciones máximas de lactato en BJJ (desde 10 a 14 mmol·L⁻¹), podría ser interesante obtener más registros, especialmente en competiciones oficiales que nos aproximen más a las demandas fisiológicas reales de este deporte.

Además de los datos de máxima producción de lactato sanguíneo, es absolutamente crucial que el atleta desarrolle una capacidad fisiológica de taponar la acidosis producida por la utilización de la vía glucolítica láctica (Jones & Ledford, 2012). Durante una competición de BJJ un luchador con éxito, puede realizar varias luchas sucesivas. En una competición internacional el ganador habrá tenido que rea-

lizar entre 4 y 6 combates en el mismo día, teniendo tiempos relativamente cortos de recuperación entre combates. Según las reglas de la IBJJF (International Brazilian Jiu-Jitsu Federation, 2014) hasta las semifinales, el tiempo de descanso mínimo sería la misma duración del combate (ej. 10 minutos para cinturones negros), y el doble de la duración del combate entre las semifinales y la final (ej. 20 minutos). Por tanto, no sólo la capacidad de producción de lactato, sino también el ratio de aclarado de lactato sanguíneo, podrían suponer en conjunto un factor decisivo para el rendimiento de los atletas en BJJ. Sahlin (1992) explica que el tiempo de retorno desde el lactato máximo hasta los valores basales oscilan entre 30 y 60 min. Además, Ahmaidi et al. (1996) añaden que la mejora en el aclarado de lactato durante la recuperación posterior de un ejercicio de alta intensidad, se asocia con un mejor resultado de potencia anaeróbica durante los siguientes esfuerzos de alta intensidad. Específicamente en BJJ; Pereira et al. (2011) indican que un aclarado superior de lactato sanguíneo, podría facilitar la consecución de un adecuado pH intramuscular para la siguiente lucha.

Cuatro investigaciones han analizado la concentración de lactato sanguíneo después de una lucha de BJJ, el período de recuperación utilizado fue de 15 minutos. Si calculamos la diferencia entre el lactato máximo y el dato de recuperación, y lo dividimos entre los minutos del período de recuperación, obtenemos que el dato de aclarado de las citadas investigaciones se sitúa entre 0.27 y $0.41 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (Andreato et al., 2013; da Silva, Ide, de Moura Simim, Marocolo, & da Mota, 2014a; da Silva et al., 2013; Pereira et al., 2011). Los valores de aclarado obtenidos están muy por debajo de los encontrados en judocas de élite, con períodos de recuperación entre 10 y 15 min. Los judocas aclaran a una velocidad que oscila entre 0.55 y $0.98 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (Bonitch-Dominguez, 2006; Ebine, Yoneda, Hase, & Aihara, 1991; García, 2004).

Como conclusión de este apartado, analizando los datos registrados en frecuencia cardíaca, ratio de esfuerzo percibido y niveles de cortisol en saliva, se observa que son significativamente más altos en competición que en combates simulados o sesiones de entrenamiento. Este hecho puede ser debido a que el ambiente competitivo, unido al nivel de los adversarios puede incrementar el estrés que tiene un atleta, y le provoca demandas físicas y fisiológicas adicionales, como se ha observado en diferentes deportes (Haneishi et al., 2007; Passelergue, Robert, & Lac, 1995). Sin embargo, curiosamente los datos de lactato sanguíneo existentes en la bibliografía no están en esta misma línea, aunque como hemos observado la única competición en la que se registró este parámetro fue de nivel regional. Por este motivo, podrían ser necesarios más datos sobre lactatos máximos de atletas de BJJ en competiciones con un nivel de exigencia alto, que nos puedan aproximar de manera más exacta a la realidad fisiológica de este deporte de combate.

3.1.6 La Fuerza

La fuerza es considerada una de las capacidades más determinantes en aquellos deportes de lucha en los que predomina el agarre, tales como el judo, la lucha libre olímpica o el BJJ. Los atletas de élite de este tipo de deportes (ej. *grappling sports*) necesitan unos extraordinarios valores de fuerza y potencia muscular, tanto en el tren superior como en el inferior. Además se le otorga una importancia especial, a manifestaciones de la fuerza que tienen un alto grado de especificidad en este grupo de deportes, como son la fuerza isométrica máxima y la resistencia de fuerza en la musculatura de los antebrazos (Franchini et al., 2013; Garcia-Pallares et al., 2011; Pereira et al., 2011).

Específicamente en BJJ, varios autores destacan la importancia de la fuerza como una capacidad física clave para alcanzar un óptimo rendimiento en competición (da Silva, Marocolo Júnior, de Moura Simim, & Rezende, 2012; da Silva, Simim, Marocolo, Franchini, & da Mota, 2014b; Jones & Ledford, 2012; Ratamess, 2011). La fuerza en este deporte se manifiesta en todas sus variantes, por esta razón, a continuación vamos a realizar un pequeño recorrido sobre los estudios científicos que explican la relación existente entre las diferentes manifestaciones de la fuerza, y los gestos técnicos utilizados durante el desarrollo de un combate.

Fuerza Máxima

En primer lugar, trataremos la fuerza máxima, tanto a nivel isométrico como de forma dinámica; La fuerza isométrica de agarre o prensión, es el resultado de la máxima fuerza que cada individuo es capaz de ejercer bajo condiciones mecánicas normales, a través de una flexión voluntaria de todas las articulaciones de los dedos, incluido el pulgar y las muñecas (Shyamal Koley, 2009). Esta manifestación de la fuerza es un factor específico y clave en BJJ, ya que el atleta durante una lucha se encuentra en contacto con el oponente la mayor parte del tiempo, debiendo mantener un fuerte agarre en diferentes partes del cuerpo (solapa, pantalón), para desarrollar acciones de ataque, defensa, contraataque etc. (Oliveira, Moreira, Godoy, & Cambraia, 2006). Sin embargo, la mayoría de los autores que han estudiado la fuerza máxima isométrica de agarre en BJJ mediante test de dinamometría, han concluido que los atletas que practican este deporte, no tienen grandes registros en estos test, y por lo tanto, no parece que sea una de las variables más importantes de rendimiento (Andreato et al., 2013; Andreato et al., 2011; Oliveira et al., 2006). Dicha afirmación, que puede parecer contradictoria, merece un análisis más profundo. Por un lado, es cierto que los registros obtenidos en BJJ son inferiores a los datos de judokas y luchadores olímpicos de élite (Tabla 4), sin embargo, hay que tener en

cuenta varios aspectos tales como; la variabilidad en la metodología (ej. instrumento de medición utilizado), el momento de la temporada (ej. periodo preparatorio o competitivo), y especialmente el peso de los atletas, ya que varias investigaciones han encontrado correlaciones entre el peso corporal y la máxima fuerza de agarre isométrica (Bonitch-Gongora, Almeida, Padial, Bonitch-Dominguez, & Feriche, 2013). En segundo lugar, el nivel de entrenamiento y preparación de los deportistas (judokas y luchadores olímpicos de alto nivel) que están inmersos en el ciclo olímpico podría ser más elevado, que las de los atletas de BJJ, ya que es un deporte que está actualmente en un proceso de profesionalización.

Tabla 4. Máxima producción de fuerza isométrica de prensión manual en atletas de Brazilian Jiu-jitsu y deportes de agarre afines.

Referencia	Atletas	N	Edad (años)	Peso (kg)	Izquierda (kgf)	Derecha (kgf)	Dinamómetro
Andreato et al. (2011)	Atletas de élite BJJ	11	25.8 ± 3.3	83.1 ± 8.7	40.1 ± 3.8	43.7 ± 4.8	Takey Kogyo
Andreato et al. (2013)	Adultos BJJ	35	18 - 30	80.2 ± 13.0	44.2 ± 11.1	45.9 ± 10.3	Takey Kogyo
Oliveira et al. (2006)	Azules y morados BJJ	29	23.9 ± 2.4	NR	46.2 ± 8.2	49.6 ± 8.2	Jamar
	Marrones y negros BJJ	21	23.9 ± 2.4	NR	48.2 ± 10.3	51.2 ± 10.7	Jamar
Franchini et al. (2009)	Atletas BJJ	22	24.5 ± 5.8	76.7 ± 11.2	51.4 ± 6.1	54.2 ± 6.7	Jamar
Little et al. (1991)	Atletas junior Judo	9	17.3 ± 0.8	67.2 ± 7.2	50.6 ± 8.4	52.0 ± 8.3	NR
	Atletas sénior Judo	17	26.0 ± 5.3	79.3 ± 14.6	54.0 ± 10.4	57.7 ± 9.0	NR
Pallares et al. (2011)	Luchadores de élite	10	19.6 ± 1.5	87.0 ± 4.3	55.9 ± 6.7 ^N	55.6 ± 8.9 ^D	Hidraulic
	Luchadores amateur	12	17.2 ± 1.7	88.1 ± 7.5	49.3 ± 11.1 ^N	52.1 ± 9.5 ^D	Hidraulic

NR = no registrado; D = mano dominante; N = mano no dominante.

Por último, (Bonitch-Gongora et al., 2013) sugieren que los judokas de élite que desarrollan mayores niveles de fuerza máxima de agarre, también tienen mejores estrategias para resistir contracciones sucesivas. Por otro lado, la máxima fuerza isométrica de agarre, permite discriminar entre atletas de élite y amateur, tanto en luchadores olímpicos (Garcia-Pallares et al., 2011), como en judokas (Bonitch-Gongora et al., 2013). Teniendo en cuenta las similitudes comentadas anteriormente entre estos tres deportes de agarre, y los datos aportados en la literatura científica, es factible pensar que alcanzar unos mínimos niveles de fuerza máxima de agarre, podría ser necesario para competir con éxito en BJJ. Para corroborar dicha afirmación, sería interesante una mayor investigación en este apartado, especialmente comparando atletas de diferentes niveles.

Otra capacidad específica de este deporte, es la fuerza isométrica máxima de la espalda. Durante el transcurso de una lucha, el atleta tiene que mantener una postura erguida frente a los ataques del adversario que pretenden romper esa posición de equilibrio. Andreato et al. (2011) midieron esta capacidad en 11 atletas de élite de BJJ, mediante un test máximo isométrico (ej. *back strength test*) que registra la fuerza ejercida por la musculatura lumbar. Encontraron valores bastante elevados (185 ± 36 kgf), estos datos estarían incluso por encima de los obtenidos por judokas (Brito et al., 2005) y luchadores olímpicos de élite (Garcia-Pallares et al., 2011). Esa diferencia en este caso favorable al BJJ frente a otros deportes de lucha, podría radicar en que como hemos visto anteriormente, las luchas en este deporte se desarrollan en su mayor parte en el suelo, ya que el tiempo de lucha allí es aproximadamente 6 veces superior al tiempo de lucha en pie (Del Vecchio et al., 2007). Por tanto, el trabajo isométrico de la espalda se incrementa al realizar más acciones de fuerza desde la posición de sentado o de rodillas (Andreato et al., 2011). Siguiendo con la investigación de Andreato et al., (2011), observamos que estos autores testan la fuerza isométrica máxima de los miembros inferiores (154 ± 41 kgf) también mediante dinamometría. Los resultados obtenidos, son claramente inferiores a los registrados en judokas (Franchini, Takito, L., Brito Viera, & Kiss, 1997). En la misma línea de la reflexión anterior, este hecho podría ser debido a que los judokas, a diferencia de los atletas de BJJ, trabajan mucho más las acciones de fuerza desde la posición de equilibrio de pie que en suelo, ya que es en pie donde se desarrolla la mayor parte del combate (Franchini et al., 2013).

La fuerza dinámica máxima, también es un factor que nos aproxima al éxito deportivo en los deportes de agarre. En BJJ se observan diferencias significativas entre atletas de élite y amateurs en 1RM en el tren superior (ej. *press banca*) (da Silva et al., 2014b). En luchadores olímpicos, también se observan esas mismas diferencias entre grupos de nivel e incluso se amplían a los miembros inferiores (ej. *sentadilla*) (Garcia-

Pallares et al., 2011). Además, observamos que los valores registrados en 1 RM en el ejercicio de press de banca en atletas de élite de BJJ son similares a los obtenidos por los luchadores olímpicos de élite (da Silva et al., 2014b; Garcia-Pallares et al., 2011).

La fuerza dinámica máxima en BJJ, es protagonista principal durante el trabajo de suelo, es esencial por ejemplo, para escapar con éxito de posiciones prácticamente encajadas como una inmovilización (da Silva et al., 2014b; Ratamess, 2011). Cuando un luchador se encuentra en una posición de desventaja, tumbado en decúbito supino frente a un adversario que se encuentra por encima utilizando todo el peso de su cuerpo, con la intención de inmovilizarlo para evitar que no se escape (ej. posición de norte-sur y 100 kg) (Figura 5), es de suma importancia la aplicación de esta manifestación máxima de la fuerza, realizada a través de la abducción horizontal del hombro y la extensión del codo para lograr salir de esa posición de desventaja. Esta acción es biomecánicamente muy similar a la realizada en el ejercicio de press de banca (da Silva et al., 2014b). Además el trabajo de press de banca favorece de manera directa la realización de técnicas de proyección y estrangulación, tan comunes en este deporte (Costa, Santos, Prestes, Silva, & Knackfuss, 2009; Ratamess, 1998). Por lo tanto, y teniendo en cuenta que la capacidad para generar la máxima potencia en movimientos multi-articulares dinámicos, depende de la naturaleza del movimiento implicado (Cormie, McGuigan, & Newton, 2011), podemos interpretar que el ejercicio de press de banca tiene una gran especificidad, validez y utilidad para evaluar la fuerza dinámica máxima del tren superior, tanto en el entrenamiento como en la investigación aplicada al BJJ.



Figura 5. **Inmovilización de 100 kg.**

Potencia en miembros superiores e inferiores

Varios autores han sugerido, que los momentos/acciones decisivos/as que determinan el resultado de una lucha en BJJ (proyecciones, pases de guardia, raspados etc.) requieren de fuerza explosiva y potencia (Andreato et al., 2013; da Silva et al., 2014b; Del Vecchio et al., 2007).

En cuanto a la potencia de los brazos o miembros superiores, da Silva et al. (2014b) analizan a 28 atletas de BJJ (24.8 ± 5.7 años), dividiéndolos en dos grupos élite y no élite. Estos autores utilizan el test de press de banca lanzado, como una herramienta útil que les permite, como hemos comentado anteriormente, discriminar entre ambos grupos en relación a su fuerza máxima (ej. 1RM). Además esta investigación, aporta una información novedosa y útil, ya que sugieren que la carga óptima (% de 1 RM) para desarrollar la máxima potencia en press de banca lanzado está en ~ 42% de 1 RM en atletas de BJJ.



Figura 6. *Acciones de potencia en BJJ.*

Bajo nuestro conocimiento, no existe ningún artículo de investigación que analice la potencia de los miembros inferiores en atletas de BJJ, a pesar de que los continuos desplazamientos sobre el tatami, y los ataques realizados a la máxima velocidad tanto en pie como en suelo, intentando conseguir una posición de ventaja, pueden requerir de elevados valores de potencia en los miembros inferiores, y además como hemos comentado anteriormente, las acciones decisivas de la lucha requieren de esta manifestación de la fuerza (Figura 6).

En judo y lucha libre olímpica, varios autores sugieren que el estudio de la potencia de los miembros inferiores mediante movimientos balísticos y explosivos como los realizados en un salto vertical, pueden aportar información muy interesante sobre los patrones neuromusculares adoptados (Garcia-Pallares et al., 2011; Monteiro, Massuca, García García, Carratala, & Proença, 2011). Además, los test de salto vertical (ej. CMJ) sirven para discriminar niveles de entrenamiento, e incluso estatus deportivo en judokas y luchadores olímpicos (Garcia-Pallares et al., 2011; Monteiro et al., 2011; Zaggelidis, Lazaridis, Malkogiorgos, & Mavrovouniotis, 2012). Por otra parte, en los deportes de agarre las acciones de potencia de los miembros inferiores no se producen de manera aislada sino que se repiten en el tiempo, por lo que la interacción entre la fatiga metabólica y la potencia también ha sido analizada; Iglesias, Clavel, Dopico, y Tuii (2003) no encuentran diferencias significativas entre 8 judokas que realizaron un CMJ antes y después de un combate. Estos autores argumentan que las acciones explosivas ocurren intermitentemente durante un combate, y con tiempo suficiente de recuperación para que no se produzca fatiga en la potencia de los miembros inferiores. Similarmente (Bonitch-Dominguez et al., 2010), encuentran que sucesivos combates de judo (4 combates de 5 min.) no tienen efecto en el pico de potencia en un salto. Sin embargo (Kraemer et al., 2001), en una investigación realizada con luchadores olímpicos a lo largo de 3 combates, sí encuentran descensos de rendimiento en el salto provocados por la fatiga de las luchas, pero este efecto sólo se observa al finalizar la tercera lucha, no en las dos anteriores.

Debido a la escasez de investigaciones en este factor de rendimiento en BJJ, y teniendo en cuenta los datos publicados en judo y lucha olímpica, una investigación interesante podría estar encaminada a estudiar los datos de potencia de los miembros inferiores, en atletas con diferentes niveles para observar si esta variable contribuye a la excelencia en este deporte. Por otro lado, teniendo en cuenta que las secuencias de esfuerzo son mayores, y los períodos de recuperación más cortos que en judo y lucha olímpica (Del Vecchio et al., 2007), también sería de interés analizar si la fatiga producida en el transcurso de varios combates sucesivos afecta al rendimiento posterior de la potencia de salto de los atletas de BJJ.



Figura 7. Resistencia de fuerza isométrica de agarre en competición.

Fuerza Resistencia

La mayoría de las acciones de agarre realizadas en BJJ, requieren de un alta resistencia para mantener constantes niveles de fuerza durante un tiempo prolongado, por tanto, hay un consenso en la literatura específica consultada sobre la importancia de la resistencia de fuerza isométrica en el agarre (ej. *gripping endurance*) (Figura 7) (Andreato et al., 2013; Andreato et al., 2011; da Silva et al., 2012; Oliveira et al., 2006).

Franchini et al. (2011) adaptaron y validaron dos test específicos de resistencia de fuerza de agarre para judokas ($n = 28$), mostrando un alto grado de reproducibilidad ($ICC=0.98$). Da Silva et al (2012) utilizando los mismos test con atletas de BJJ ($n= 30$) obtuvieron similares índices de reproducibilidad. En ambas investigaciones, se dividió a los atletas de la muestra en élite y no élite bajo los mismos criterios. Siguiendo con los estudios citados, y en referencia a los test utilizados, en ambos los atletas permanecían suspendidos sobre una barra, pero el agarre utilizado estaba hecho con la solapa de la chaqueta del uniforme (ej. judogi, *kimono*) que a su vez, estaba unido a la barra, de este modo, se producía un grado de especificidad mucho más elevado que con el contacto directo de las manos sobre la barra. El primer test medía el tiempo máximo de permanencia de agarre con flexión completa de codos, denominado “*maximum static lift*” o MSL. El segundo, registraba el número máximo de repeticiones dinámicas con agarre de solapa, simulando la acción de una “dominada”, el atleta debía subir la cabeza por encima de la barra y bajar hasta la extensión completa de

brazos, denominado "*maximum dynamic lift*" o MDL (da Silva et al., 2012; Franchini, Miarka, Matheus, & Del Vecchio, 2011). Los resultados en el test "*maximum dynamic lift*" fueron similares tanto en judokas como en atletas de BJJ. Sin embargo, los datos de permanencia en el test "*maximum static lift*" se mostraron bastante más elevados en los atletas de BJJ (~56 s) que en los judokas (~39 s). Esta diferencia, es debida probablemente a que los atletas de BJJ, se mantienen agarrados al adversario durante más tiempo de manera continuada durante un combate que los judokas (Del Vecchio et al., 2007; Franchini et al., 2013). Otro dato relevante a tener en cuenta, y que pone de manifiesto la especificidad de estos test, es que permiten discriminar entre atletas de élite y no élite. En el caso de los atletas de BJJ, en ambos test (MSL y MDL) se observan diferencias significativas entre los grupos de nivel, sin embargo, en la investigación con judokas únicamente aparecen diferencias en el test dinámico (MDL).

A la vista de las citadas investigaciones, los dos test de agarre parecen adecuados para la evaluación específica de la resistencia de fuerza de agarre en atletas de BJJ. No obstante, la resistencia de fuerza isométrica estática de agarre, se muestra como una manifestación completamente específica e individualizada para el BJJ como deporte de lucha, que podría acercar a la excelencia competitiva a los luchadores, por lo que el citado test de agarre estático (MSL), debe ser tenido muy en cuenta por entrenadores e investigadores de cara a la evaluación del agarre de los luchadores de BJJ.

Por último, en cuanto a la resistencia de fuerza abdominal durante un test específico (*sit up*), los valores de los atletas de élite BJJ (Andreato et al., 2011) están por encima de los atletas de judo (Taylor & Brassard, 1981), es razonable a la luz de reflexiones anteriores, que nos indicaban una alta demanda de la musculatura fijadora y estabilizadora de la espalda en la lucha de suelo.

3.1.7 Flexibilidad

En BJJ, la articulación torácico-lumbar y la cadera son constantemente solicitadas en el trabajo de suelo, principalmente en el trabajo de "guardia" (El atleta trabaja sentado o tumbado, atacando intentando sumisiones y volteos, y defendiendo tratando de impedir que el adversario llegue a inmovilizarlo). Souza, Silva, y Camões (2005) midieron la flexibilidad de 46 atletas de BJJ con el test "*sit and reach*", los resultados concluyeron que la práctica de BJJ propicia el aumento de la flexibilidad torácico lumbar y de la cadera, demostrando que esta capacidad física puede ser una importante variable a tener en cuenta para el rendimiento en atletas que practican este deporte. Silva, Souza, y Camões (2004), llegaron a las mismas conclusiones correlacionando el tiempo de práctica y la flexibilidad en el test "*sit*

and reach", por lo que el tiempo de práctica en BJJ beneficiaba la adquisición de la flexibilidad torácico lumbar y de cadera.

Por tanto, teniendo en cuenta que la flexibilidad puede ser una capacidad importante para el rendimiento de este deporte, Andreato et al. (2015) intentaron averiguar si sucesivos combates de BJJ podían alterar la movilidad articular de los atletas. Utilizando el mismo test "*sit and reach*", estos autores no encontraron diferencias significativas a lo largo de 4 combates simulados.

Ante la controversia existente sobre la realización de estiramientos previos a la realización de entrenamientos específicos, encontramos el trabajo de Costa et al. (2009) que observaron una pérdida (ej. ~8.75%) en la generación de fuerza máxima (ej. 1 RM) de los miembros superiores en el ejercicio de press de banca en atletas de BJJ. El protocolo específico consistió en la realización de tres estiramientos sobre los principales grupos musculares implicados en el ejercicio de press de banca, tres series de 20 s cada uno, con un total de 180 s. Según estos autores, desde el punto de vista práctico los estiramientos estáticos parecen mostrarse perjudiciales antes de realizar acciones de fuerza máxima en los miembros superiores. Existen más investigaciones en este sentido, y recomiendan que los métodos de estiramiento estáticos o balísticos, no deben realizarse antes de las sesiones de entrenamiento de fuerza, ya que dificultan el posterior desempeño de la misma, especialmente si se realizan protocolos de más de 30 s de duración, debido a que pueden afectar al establecimiento de los puentes cruzados actina-miosina, al causar una modificación de la longitud del sarcómero que no sería óptima para producir fuerza muscular (Sa et al., 2015).



3.2 La cafeína

La cafeína, es una de las sustancias más consumidas en el mundo a pesar de que no tiene ningún valor nutricional, y no es esencial para ninguna función biológica. Aproximadamente el 80% de la población mundial consume cafeína diariamente (Butt & Sultan, 2011). La cafeína es un polvo sólido, cristalino, blanco y de sabor amargo. Está relacionada farmacológicamente con los psicoestimulantes. El químico alemán Friedrich Ferdinand Runge, la aisló del café en 1819 y del té en 1827, pero su estructura química no se describió hasta 1875 por Hermann Emil Fischer, premio Nobel de química en 1902 en parte por este trabajo (Figura 8). La cafeína (1,3,7-trimetilxantina) tiene unos derivados pertenecientes al grupo de las xantinas, que a su vez se derivan de las purinas, como la teofilina (1,3-dimetilxantina), y la teobromina (3,7- dimetilxantina), que junto con la cafeína y otros componentes como los polifenoles, forman parte de extractos estimulantes de algunas plantas como la guaranina (extracto del Guaraná), la teína (del Té) o la mateína (del Mate). Estos derivados con estructura química similar, sin embargo, tienen efectos de menor intensidad a igual dosis (Pardo Lozano, Alvarez García, Barral Tafalla, & Farré Albadelejo, 2007).

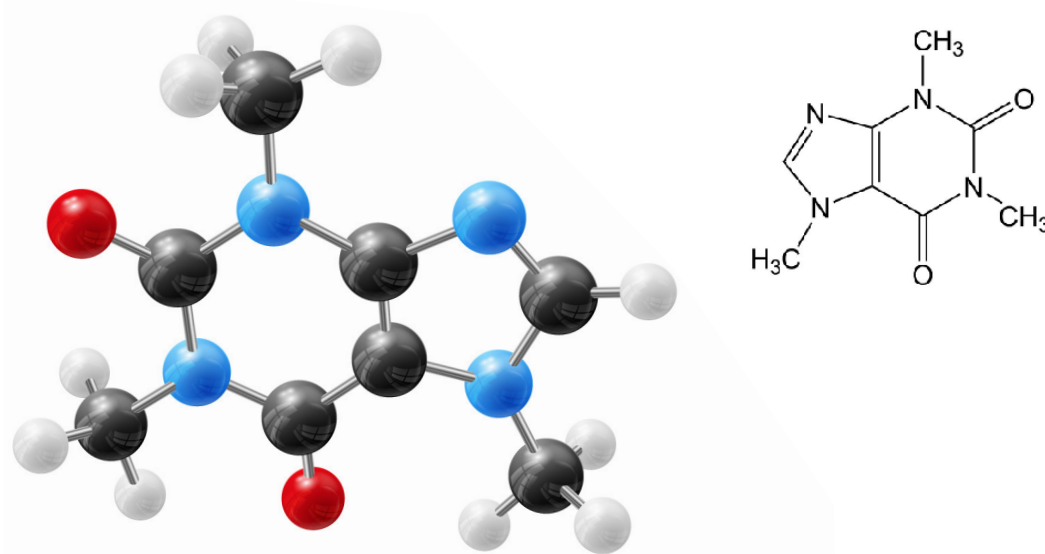


Figura 8. **Molécula de cafeína.**

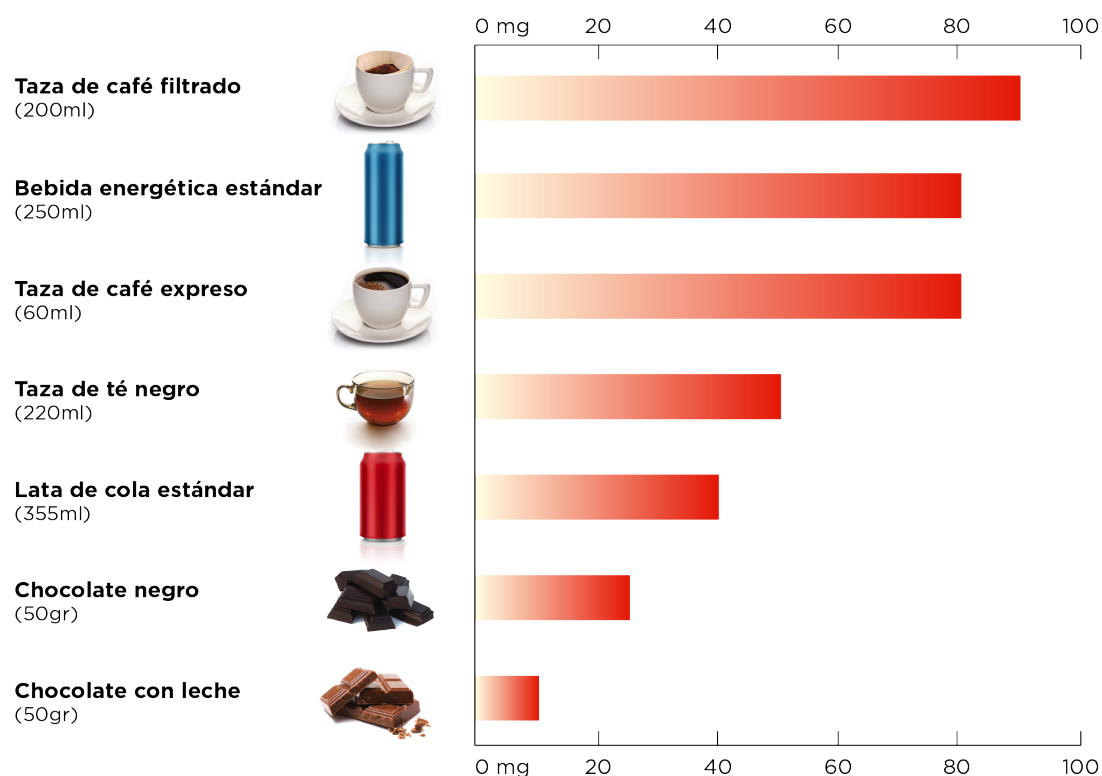
3.2.1 Principales fuentes de cafeína, consumo y dosis

La cantidad más alta y variable de cafeína que se ingiere en la dieta la contiene el café (0.8-1.8%). Esta dosis de cafeína del café, depende de múltiples variables tales como las diferencias genéticas de los granos, así como del tiempo y la forma de preparación, oscilando entre 20 y 117 mg por 100 ml. El café descafeinado contiene entre 1 y 5 mg por 100 ml. El segundo producto en contenido de cafeína es el té. Básicamente, existen cuatro tipos de té: el verde (no fermentado), el té rojo (semi-fermentado), el té negro (fermentado) y el té blanco. La concentración oscila entre 20-73 mg por 100 ml, que puede variar según el método de elaboración y el tiempo de extracción. En el cacao predomina la teobromina (2.5%), y en menor cantidad la cafeína (0.4%). El contenido de cafeína del chocolate oscila entre 5-20 mg por 100g y depende del lugar de procedencia del cacao. El chocolate negro, amargo o semidulce posee mucha más cafeína que el chocolate con leche. Las plantas como el guaraná, el mate, la cola y el yoco también contienen cafeína, entre un 2 y un 4 % (Pardo Lozano et al., 2007).

En cuanto a la ingesta, entre los países con el consumo más alto de cafeína (medido por mg/kg/día, tomando como referencia a un adulto medio de 70 kg), destacan Suiza, Noruega y Países Bajos, con aproximadamente 6 mg/kg/día. Por otro lado, los países con un consumo más bajo de cafeína son Tanzania, Costa de Marfil y Nigeria con dosis menores de 1 mg/kg/día (Fredholm, Battig, Holmen, Nehlig, & Zvartau, 1999). En España se estima que el 80% de la población adulta tiene un consumo medio de entre 200-300 mg por persona, (3-4 mg para una persona de 70 kg). En el caso de los niños y adolescentes, la cafeína se consume principalmente en forma de bebidas energéticas, refrescos y chocolate (Fig. 9). Los refrescos con cafeína, incluidos los etiquetados como *diet* o *light*, presentan entre 15-35 mg de cafeína por cada 180 ml, sólo un 5% de refrescos están libres de cafeína (Moro, Lizasoain, & Ladero, 2003; Pardo Lozano et al., 2007).

Recientemente en el año 2015, se ha publicado una interesante investigación de la Agencia Europea en Seguridad Alimentaria (EFSA). En primer lugar, se realizó una investigación en el Reino Unido para calcular los niveles de cafeína en diferentes productos alimenticios. Este estudio analizaba las concentraciones de cafeína de 400 muestras de té (hojas sueltas, bolsas, máquinas expendedoras y té instantáneo) y cafés (máquinas expendedoras de café expreso y café instantáneo de filtro en las cafeterías), también analizaban los cafés/tés preparados en casa, en los lugares de trabajo o comprados en diferentes puntos de venta. Para los alimentos, se utilizaron valores ofrecidos en otras encuestas representativas de la EFSA, a excepción de las bebidas energéticas, que se utilizaron 320 mg de cafeína por litro como referencia obtenidos de la marca más popular (Figura 9).

Cuánta cafeína hay en...



Todas las cifras son aproximadas ya que el contenido de cafeína y el tamaño de las porciones varían dentro y entre los países.

Figura 9. Contenido de cafeína en diferentes productos.

Adaptado de (EFSA Panel on Dietetic Products, 2015).

En segundo lugar se analizó la ingesta de cafeína de alimentos y bebidas en función de la edad a los ciudadanos de la Unión Europea, para ello se utilizaron 39 encuestas en 22 países europeos con un total de 66.531 participantes (Tabla 5).

En relación a las dosis seguras de consumo de cafeína por grupos de edad (EFSA Panel on Dietetic Products, 2015), sugiere lo siguiente:

En adultos, dosis únicas de 200 mg (aproximadamente 3 mg por kg de masa corporal), no plantean problemas de seguridad para la población adulta sana en general. La misma cantidad de cafeína, no plantea problemas de seguridad cuando se consume en un periodo de dos horas, previas a un intenso ejercicio físico en condiciones ambientales normales. No se han encontrado estudios en mujeres embarazadas o personas de edad avanzada que realizan ejercicio físico intenso. Las dosis únicas de 100 mg (aproximadamente 1.4 mg / kg de masa corporal) de cafeína pueden afectar a la duración del sueño y a la conciliación del mismo en algunos

adultos, especialmente cuando se consumen antes de acostarse. La ingesta de hasta 400 mg por día (alrededor de 5.7 mg / kg de masa corporal por día) consumidos a lo largo del día, no plantean problemas de seguridad para los adultos sanos en la población general, con excepción de las mujeres embarazadas.

Para niños y adolescentes, las dosis límite de seguridad de cafeína consideradas para los adultos también pueden servir para los niños, debido a que la velocidad de procesamiento de la cafeína en niños y adolescentes es al menos como la de los adultos, y los estudios disponibles en los efectos agudos de la cafeína sobre la ansiedad y la conducta en niños y adolescentes apoyan este nivel. Por lo tanto también se propone un nivel de seguridad de 3 mg / kg de masa corporal por día para el consumo de cafeína habitual por los niños y adolescentes.

Tabla 5. Rango de consumo diario de cafeína por edades.

Muy ancianos (75 años y más)	22 - 417 mg
Ancianos (65 - 75 años)	23 - 362 mg
Adultos (18 - 65 años)	0.4 - 1.4 mg/kg peso
Adolescentes (10 - 18 años)	0.4 - 1.4 mg/kg peso
Niños (3 - 10 años)	0.2 - 2.0 mg/kg peso
Lactantes (12 - 36 meses)	0 - 2.1 mg/kg peso

Extraído de (EFSA, Panel on Dietetic Products, 2015).

En relación a las mujeres embarazadas, la ingesta de cafeína procedente de cualquier producto, con una dosis de hasta 200 mg consumidos a lo largo del día, no plantea problemas de seguridad para el feto (EFSA Panel on Dietetic Products, 2015).

Algunos medicamentos también contienen cafeína generalmente en combinación con otros principios activos (diuréticos o analgésicos). Los contenidos oscilan habitualmente entre 15 y 200 mg, siendo mayor la dosis en los que no precisan receta. Existen medicamentos en los que el único principio activo es la cafeína a dosis elevadas (hasta 300 mg) (Harland, 2000; Pardo Lozano et al., 2007).

3.2.2 Bebidas energéticas y cafeína

Las bebidas energéticas son una fuente principal de ingesta de cafeína en el mundo del deporte (Hoffman, 2010). Las bebidas energéticas se publicitan como productos alimentarios para la prevención de la fatiga física y el agotamiento. Aunque parecen un producto novedoso, estas bebidas se han comercializado en países asiáticos o latinoamericanos desde hace varias décadas. De entre todas las marcas comerciales, la

que tiene una mayor cuota de mercado a nivel mundial es Red Bull®, con más de 5.600 millones de latas vendidas en 2014 (Reb Bull, 2015).

La mayoría de las bebidas energéticas tienen una composición parecida, a pesar de que son fabricadas por diferentes compañías. Todas llevan una cantidad de cafeína similar (32 mg/100 ml de producto), pero además la mayor parte contienen carbohidratos (10 g/100 ml de producto) taurina, glucoronolactona y vitaminas del grupo B, entre otros. Generalmente, el efecto de las bebidas energéticas sobre el funcionamiento del organismo se relaciona con el sumatorio, o en algún caso sinergia de los efectos de cada uno de sus ingredientes individuales (Hoffman, 2010). Sin embargo, en un reciente estudio Quinlivan et al. (2015), pone en duda esta sinergia entre la cafeína y el resto de ingredientes que integran las bebidas energéticas. Ciclistas entrenados participaron en un estudio a doble ciego cruzado que implicó tres condiciones experimentales. A los participantes se les administró aleatoriamente Red Bull® (9,4 ml/kg, que contenía 3 mg/kg de cafeína), cafeína (3 mg/kg administrada en cápsula) o placebo, 90 min antes de una contrarreloj simulada de 1 h de ciclismo equivalente al 75% W pico. Observando los resultados, se produjo un incremento de rendimiento del grupo Red Bull® (2.8%) y del grupo cafeína (3.1%), en comparación con el grupo control. No se hallaron diferencias significativas entre los grupos, ni en la percepción del esfuerzo, ni en la frecuencia cardíaca media. Por lo que según esta investigación, los ingredientes adicionales que acompañan a la bebida energética Red Bull® no aportan ventajas suplementarias a las obtenidas por la cafeína.

3.2.3 Mecanismo de acción

El mecanismo de actuación está relacionado con el SNC. La cafeína cruza la barrera hematoencefálica que separa a los vasos sanguíneos del encéfalo, bloqueando los receptores de adenosina que se encuentran en el cerebro. La adenosina, es un neurotransmisor que aumenta la sensación del dolor e induce al sueño, por lo tanto, actúa como relajante en las células nerviosas. Las moléculas de cafeína y adenosina tienen una estructura similar, de este modo, la cafeína se une a los receptores de adenosina desactivándolos y actuando como antagonistas competitivos, así el efecto de la cafeína está directamente relacionado con la inhibición de la adenosina (Fisone, Borgkvist, & Usiello, 2004). A nivel periférico, la cafeína inhibe la actividad de la fosfodiesterasa, promoviendo un aumento de catecolaminas en el plasma y de la glucólisis (Davis & Green, 2009).

3.2.4 Farmococinética de la cafeína

La farmacocinética describe el comportamiento de una droga en el cuerpo, los parámetros que se estudian son el volumen de distribución, el ratio de aclaramiento, la vida media en el cuerpo y su eliminación, concentración en el plasma etc., son determinados por 4 procesos, absorción, distribución, metabolismo y excreción (Jang, Harris, & Lau, 2001; Magkos & Kavouras, 2005).

Tras su ingestión oral, el estómago y el intestino delgado absorben la cafeína durante los 45 minutos que siguen a la ingesta, para luego ser distribuida a través de todos los tejidos del cuerpo (Mumford et al., 1996). La absorción de la cafeína está influenciada por la fórmula de la dosis, el pH, el volumen, y la composición de la misma (Bonati et al., 1982). Por ejemplo, la cafeína se absorbe más rápido si la ingestión es a través de chicles, en comparación a la misma dosis suministrada en cápsulas (Kamimori et al., 2002). Por otro lado, la absorción en forma de cápsulas es más rápida que tomarla a través de café y/o té, mientras que la manera más lenta en la que la cafeína es absorbida, es a través de bebidas con cola (Magkos & Kavouras, 2005; Marks & Kelly, 1973). Sin embargo, estas diferencias no son observables siempre, y parece que si la dosis de cafeína absoluta y el volumen de administración son los mismos, las tasas de absorción son similares, independientemente del tipo de formulación (Liguori, Hughes, & Grass, 1997). Cabe señalar que una tasa más rápida de absorción podría resultar en un inicio más rápido de los efectos, pero no necesariamente presentar una mayor magnitud de los mismos (Magkos & Kavouras, 2005).

En cuanto a su distribución, con la ingesta de una cantidad de cafeína de aproximadamente 5 o 6 tazas de café al día la concentración plasmática de cafeína se sitúa alrededor de 50 μM (Magkos & Kavouras, 2005). En el caso de la ingesta de una taza de café, que corresponde aproximadamente a 1 mg/kg de cafeína, el pico de concentración plasmática de cafeína será de 5 a 10 μM (Carrillo & Benitez, 2000) y se producirá entre 15 y 120 min después de la ingesta (Kamimori et al., 2002; Mumford et al., 1996). Las concentraciones de cafeína en el organismo se suelen medir con muestras de saliva o de plasma, ambas son fiables, aunque se debe considerar que en la saliva la concentración de cafeína es el 80% de la que aparece en el plasma (Magkos & Kavouras, 2005).

La metabolización de la cafeína en el organismo se ha estudiado desde hace décadas. Antes de los años 50, ya se había producido una gran cantidad de información científica respecto del metabolismo de la cafeína (Weinfeld & Christman, 1953). La cafeína es metabolizada en el hígado a través de biotransformaciones (demetilación) en tres sub productos; paraxantina (84%), teobromina (11%) y teofilina (5%). En el hígado, el citocromo que se encarga de este proceso de metabolización es el P450 y los subtipos 1A2 (CYP1A2) y 2E1 (CYP2E1) (Hakooz, 2009).

La cafeína tiene varios efectos en los diferentes aparatos y sistemas. En el SNC tiene un efecto psicoestimulante, por lo que disminuye la sensación de fatiga, aumenta la capacidad para mantener la atención y concentración intelectual, por otro lado, mantiene el estado de vigilia aún con privación de sueño (Beaumont et al.,

2005). A nivel respiratorio, la cafeína incrementa sensiblemente la capacidad respiratoria al aumentar la contractilidad del diafragma (Bara & Barley, 2000), también incrementa la ventilación en reposo y la producción de CO_2 durante el ejercicio por debajo del umbral anaeróbico (D'Urzo et al., 1990). En relación al sistema cardiovascular, la ingesta de cafeína causa un aumento de la presión arterial y un aumento de la frecuencia cardíaca debido a la inhibición de los receptores de la adenosina (Lovallo et al., 2004). La cafeína también tiene efectos en la capacidad muscular debido a la mejora de la liberación de Ca^{++} en el retículo sarcoplasmático, o por el reclutamiento de unidades motoras, debido a la inhibición de las acciones de la adenosina en el SNC. Por último, entre otros efectos directos e indirectos en el organismo, también aumenta la producción de orina en reposo, incrementa la lipólisis, y el flujo renal (Davis et al., 2003; Graham, 2001; Magkos & Kavouras, 2005).

Cabría añadir en cuanto a la utilización terapéutica de la cafeína, que actualmente tiene unos efectos terapéuticos demostrados; en Pediatría se emplea como broncodilatador y estimulante del SNC, también es añadida a analgésicos para potenciar la eficacia antiálgica y antimigrañosa. Actualmente se están sugiriendo distintas aplicaciones para la cafeína, neurológicas, endocrinas, digestivas e incluso en relación con el cáncer que deberán comprobarse en el futuro con ensayos clínicos (Pardo Lozano et al., 2007).

El tiempo medio que tarda el organismo en eliminar o excretar la cafeína para dosis menores de 10 mg/kg, oscila entre 2.5 y 10 h, y la velocidad de aclaramiento del plasma en el riñón oscila desde 1 a 3 ml/kg/min (Kamimori et al., 2002; Magkos & Kavouras, 2005). En el caso de mayores dosis de ingestión, dosis repetidas o consumos habituales, el tiempo de excreción de la sustancia incrementa, no sólo por la mayor concentración de la cafeína, sino por el aumento de los metabolitos que aparecen tras la metabolización de la cafeína (Cheng et al., 1990). La gran variabilidad en los parámetros de eliminación de la cafeína (vida media, ratio de aclaramiento), indica que las diferencias interindividuales en farmacocinética, se deben en mayor medida a la capacidad de metabolizar y eliminar la sustancia que a la capacidad de absorberla. La vida media de la cafeína y el aclaramiento de esta sustancia en el plasma están determinados también por la actividad del citocromo P450, que como hemos visto antes, se encarga del proceso de metabolización. Los factores ambientales y el estilo de vida pueden influenciar la capacidad de eliminación de la cafeína. Por un lado, los factores y condiciones que pueden aumentar la capacidad de excreción son el sexo, el tabaco, la altitud, la ingesta de café y vegetales crucíferos. Por otro lado, los factores que disminuyen la actividad metabólica del citocromo P450 entre un 50-70% aproximadamente, son el consumo de alcohol, la obesidad y el consumo de tabaco. Sólo entre un 1-2% de la dosis ingerida de cafeína se excreta sin cambios en orina (Donovan & DeVane, 2001).

Tabla 6. Farmacocinética de la cafeína en hombres.

Parámetros	Descripción y valores medios (o rangos)
Biodisponibilidad	Absorción completa en 60 min.
Pico de concentración plasmática (PCP)	5-10 μ M por cada 1 mg/kg de dosis oral
Tiempo para PCP	60 (15-120) min.
Volumen de distribución	700 (500-800) mL/kg
Tiempo medio de eliminación	5 (2.5-10) h
Ratio de aclarado	1.5 (1-3) mL/kg/min.
Pico de concentración en orina (PCO)	0.5-1.5 μ g/mL por cada 1 mg/kg de dosis oral
Tiempo para PCO	120 (60-180) min.

Extraído de Magkos & Kavouras, 2005.

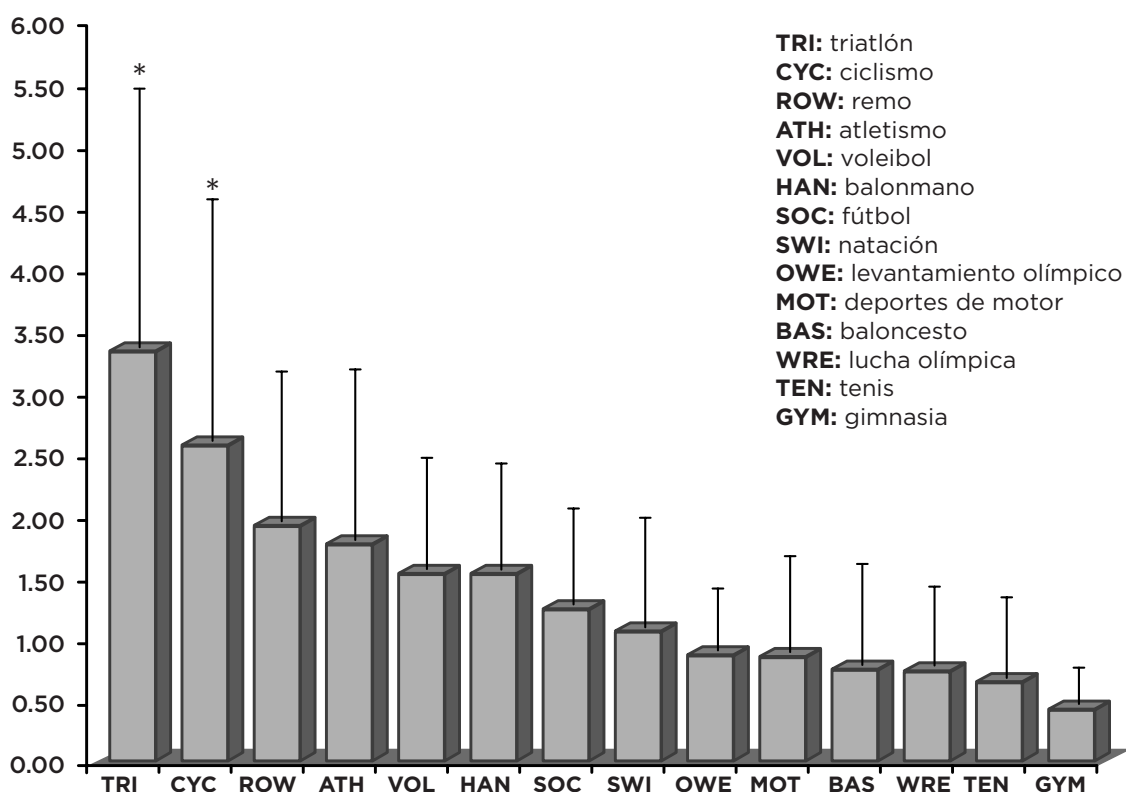
3.2.5 Cafeína y Rendimiento deportivo

Si hablamos específicamente de su uso en el deporte, la cafeína es una de las ayudas ergogénicas más utilizadas. El actual uso de la cafeína en el deporte está asociado a tres factores fundamentales: En primer lugar, su ingestión ha producido beneficios físicos y fisiológicos en múltiples actividades deportivas con diferentes intensidades y duraciones (Burke, 2008). Segundo, el incremento de su popularidad, debido a la publicidad y a la oferta comercial de bebidas energéticas y suplementos que incluyen esta sustancia (Hoffman, 2010). El tercer factor hace referencia a que desde el año 2004, ya no consta como una sustancia prohibida en la lista de la agencia mundial antidopaje (AMA).

En la literatura encontramos varios artículos de revisión que explican la influencia de la cafeína sobre el rendimiento físico (Astorino & Roberson, 2010; Burke, 2008; Davis & Green, 2009; Doherty & Smith, 2005; Graham, 2001; Graham, Rush, & van Soeren, 1994; Magkos & Kavouras, 2005; Spriet, 2014; Warren, Park, Maresca, McKibans, & Millard-Stafford, 2010). Boje en 1939, ya recomendaba controlar o incluso prohibir la ingesta de cafeína en las competiciones deportivas, debido al incremento que causaba en el rendimiento de los deportistas. Perkins y Williams (1975) con un diseño experimental a doble ciego, observaron la ergogenicidad de la cafeína sobre el rendimiento en una actividad de resistencia máxima en mujeres, para ello utilizaron diferentes dosis de cafeína; pequeña (4 mg/kg), media (7 mg/

kg) o grande (10 mg/kg). Para Graham (2001), este estudio fue la base para que en años posteriores muchos investigadores corroborasen el efecto ergogénico de la cafeína. Doherty y Smith (2005) realizaron una revisión sobre 21 investigaciones científicas en torno a la cafeína con dos características comunes, todos los sujetos utilizaron una carga constante, y el ejercicio era realizado hasta el agotamiento. Las conclusiones de este meta análisis fueron fundamentalmente dos; la cafeína aumenta el rendimiento en un 11.2%, y disminuye el ratio de esfuerzo percibido en un 5.6 %.

Actualmente existen evidencias científicas sobre la utilización de la cafeína por parte de deportistas de élite. Para comprobar el efecto que tuvo la retirada de la cafeína de la lista de sustancias prohibidas de la AMA en el año 2004, Del Coso, Munoz, y Munoz-Guerra (2011) analizaron 20 686 muestras de orina obtenidas en competiciones oficiales nacionales e internacionales entre los años 2004 y 2008. Estos autores observaron que 3 de cada 4 atletas consumieron cafeína, destacando los deportistas de resistencia por encima del resto de atletas, en la relación a la concentración urinaria de esta sustancia (Figura 10).



* = Diferencia con el resto de deportes $P < 0.05$

Figura 10. Concentración de cafeína en orina en diferentes deportes ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)

Extraído de Del Coso, Munoz y Munoz-Guerra (2011).

Cafeína y resistencia

En los años 70, los efectos de la cafeína fueron inicialmente probados en ejercicios de larga duración. Se pensaba que la ergogenicidad de la cafeína estaba relacionada con el incremento de la lipólisis y el ahorro en el gasto de glucógeno (Costill, Dalsky, & Fink, 1978). Aunque algunos estudios no encuentran la efectividad de la cafeína en ejercicios de resistencia (Butts & Crowell, 1985; Falk et al., 1990), actualmente existen multitud de investigaciones que sí evidencian el efecto ergogénico de la cafeína sobre el rendimiento en actividades de resistencia, las más importantes recogidas en varios artículos de revisión (Burke, 2008; Graham, 2001). Por lo tanto, existe un consenso general en el que se acepta que la cafeína es una potente ayuda ergogénica, tanto en entrenamiento como en competición para pruebas de resistencia.

No obstante, sí existe controversia sobre si la cafeína puede contrarrestar la fatiga durante la realización de ejercicios con un ambiente de calor. Por un lado, algunas investigaciones explican que 5, 6 o 9 mg/kg no mejoran el rendimiento en actividades de resistencia con calor (Cohen et al., 1996; Roelands et al., 2011), sin embargo, otros estudios sí hallaron este efecto ergogénico de la cafeína con una dosis de 6 mg/kg (Ganio et al., 2011a; Ganio et al., 2011b).

Cafeína, actividades intermitentes y sprints repetidos

La cafeína también se ha mostrado ergogénica en actividades donde la oxidación de las grasas y/o los hidratos de carbono, es tan escasa que no supone un factor limitante en el rendimiento. Astorino y Roberson (2010) realizaron una revisión de 28 artículos científicos, el criterio de inclusión de los estudios fue que los ejercicios fueran de alta intensidad y con una duración inferior a 5 minutos. Entre sus hallazgos destacan que 11 de 17 investigaciones encuentran mejoras significativas en deportes de equipo y en deportes basados en la potencia con la ingestión de cafeína, dichos efectos son más comunes en atletas de élite que no toman cafeína con regularidad. Seis de 11 estudios, revelaron beneficios para el entrenamiento de resistencia de alta intensidad, sin embargo, algunos estudios registraron disminuciones de rendimiento con la cafeína cuando se completaban las series. Entre las aplicaciones prácticas del artículo de revisión que estamos tratando, destacamos algunas; En primer lugar, se sugiere que el mecanismo exacto para explicar la ergogenicidad de la cafeína en ejercicios de corta intensidad no se conoce aún. En relación a las dosis de cafeína, rangos entre 2.5-7 mg · kg⁻¹ parecen necesarios para mejorar el rendimiento en ejercicios de alta intensidad. En los deportes de equipo, la capacidad para realizar sprints repetidos mejora con altas dosis, en torno a 6 mg · kg⁻¹. En cuanto a

los efectos de la cafeína y los ejercicios de fuerza, como por ejemplo 1 test de RM los beneficios son mínimos, los autores dicen que los efectos ergogénicos de la cafeína se producen fundamentalmente en actividades en las que predomina la resistencia. Estudios más recientes, en los que profundizaremos más adelante, replican varias de las conclusiones de esta revisión; En primer lugar, en referencia a las dosis adecuadas para la mejora en la capacidad de realizar sprints repetidos, también en cuanto a la ergogenicidad de la cafeína en actividades de fuerza, y por último, recientemente se apuntan algunas teorías que sí intentan explicar los mecanismos de acción de la cafeína en actividades de máxima intensidad.

Adentrándonos específicamente en la utilidad de la cafeína como ayuda ergogénica en sprints repetidos. Dosis de $3\text{--}6\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de masa corporal en forma de cápsulas, se han mostrado efectivas para incrementar el rendimiento, simulando acciones de juego en deportes de equipo masculinos (Carr, Dawson, Schneiker, Goodman, & Lay, 2008; Glaister et al., 2008; Pontifex, Wallman, Dawson, & Goodman, 2010; Schneiker, Bishop, Dawson, & Hackett, 2006; Stuart, Hopkins, Cook, & Cairns, 2005). Más recientemente, utilizando una bebida energética con contenido en cafeína ($3\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), se ha incrementado la distancia cubierta en sprints realizados a la máxima velocidad en jugadores de Fútbol (Del Coso et al., 2012a), jugadores de Rugby 7 (Del Coso et al., 2013), y en jugadoras de Fútbol (Lara et al., 2014). Parece evidente a la luz de las investigaciones mostradas, que la cafeína mejora el rendimiento en sprints repetidos, habilidad muy útil para deportes intermitentes y deportes de equipo. La dosis adecuada, como hemos visto, serían concentraciones de $3\text{--}6\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de masa corporal.

Cafeína y velocidad

La cafeína como ayuda ergogénica también ha sido estudiada en actividades o deportes cuyo componente principal es la velocidad. Gillingham, Keefe, y Tikuisis (2004), analizando a 12 tiradores reservistas observaron que con la cafeína aumentaban la detección de objetivos e incrementaban la velocidad de las acciones durante situaciones de vigilancia, sin embargo, no se mostró eficaz durante acciones más complejas que requieran un mayor nivel de procesamiento cognitivo, control fino y coordinación. En investigaciones con deportistas, en relación a la disminución del tiempo de reacción en tareas con poco nivel de procesamiento cognitivo, existen varios estudios, que demuestran la eficacia de la cafeína en tareas de velocidad de reacción simple con una dosis de $5\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, tanto en judokas (Souissi et al., 2013) como en atletas de taekwondo (Santos et al., 2014). Este efecto de la cafeína durante la realización de test sencillos de velocidad de reacción, podría estar relacionado con un aumento de la activación, ya que la cafeína parece promover la excitación de

las vías que tradicionalmente se han asociado con las respuestas motivacionales y motoras del cerebro (Lazarus et al., 2011; Santos et al., 2014).

Siguiendo con la velocidad, a continuación observamos cómo afecta la ingesta de cafeína a la velocidad frecuencial o de desplazamiento. En un estudio a doble ciego con futbolistas, se comprobó el efecto de la ingesta de una dosis de $6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en una prueba de velocidad de muy corta duración 10 x 20 m. Los autores observaron una mejora mínima con respecto a su hipótesis inicial. Para ellos dicha mejora, no es suficiente como para considerar a la cafeína una ayuda ergogénica eficaz en el rendimiento de la velocidad máxima en los deportes de equipo. Explican que, para que la cafeína fuera una ayuda ergogénica útil, los jugadores deberían obtener mejoras como mínimo de un 0.8 %, mientras que en su investigación la disminución en el tiempo total de la prueba fue de 0.1 % (Paton, Hopkins, & Vollebregt, 2001). Por otro lado, Bruce et al. (2000) realizaron pruebas de 2000 m en un ergómetro a remeros profesionales con dosis de cafeína de 6 o 9 mg/kg. Encontraron mejoras significativas (en ambas dosis), con respecto al día que realizaron la prueba con placebo, en torno a un 1.2 %. Por último, en natación encontramos dos estudios más; En primer lugar Collomp, Ahmaidi, Chatard, Audran, y Prefaut (1992) realizan un estudio con dos grupos de nadadores, unos altamente entrenados y otros denominados como nadadores ocasionales, ambos realizaron una prueba máxima de 100 m estilo libre. La ingesta de cafeína (250 mg), redujo en 1 s el tiempo total de los nadadores entrenados, mientras que no tuvo efecto ergogénico en los nadadores ocasionales. Estos autores sugieren que el entrenamiento específico es necesario para obtener adaptaciones metabólicas inducidas por la cafeína en ejercicios supramáximos. En la segunda investigación, 14 nadadores masculinos de élite realizaron una prueba máxima de 50 m estilo libre. La dosis de cafeína fue de $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, con dicha ingesta los nadadores consiguieron un tiempo significativamente menor ($1.0 \pm 0.1\%$) en relación al placebo, por lo que se sugiere que la cafeína incrementa el rendimiento en nadadores velocistas de élite (Lara, 2013).

Existe controversia en la literatura científica pero aparentemente la ingesta de cafeína puede también ser ergogénica en ejercicios con una duración menor de 60 s (Burke, 2008).

Cafeína y fuerza

El uso de diferentes dosis, formas de administración, variabilidad en los sujetos de estudio como el nivel de entrenamiento, o las condiciones bajo las que se realiza la investigación, han impedido la obtención de conclusiones firmes para de-

terminar si la cafeína puede ser considerada como una sustancia ergogénica en las diferentes manifestaciones de la fuerza muscular.

En relación a la máxima producción de fuerza, a nivel isométrico existen investigaciones que han obtenido mejoras significativas en máxima producción de fuerza en el test de máxima prensión manual en tenis, voleibol y escalada (Cabañes, Salinero, & Del Coso, 2013; Del Coso et al., 2014; Gallo-Salazar et al., 2015). Algunas investigaciones no apoyan el uso de la cafeína ($2\text{-}6\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) como ayuda ergogénica en acciones de máxima fuerza dinámica, tanto en miembros superiores como inferiores (Astorino, Rohmann, & Firth, 2008; Beck, Housh, Malek, Mielke, & Hendrix, 2008; Eckerson et al., 2013). Para Pallares et al. (2013), dosis de $9\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de cafeína son necesarias para mejorar la velocidad en acciones de fuerza con cargas altas ($90\% - 1\text{RM}$), tanto en el tren superior como en el inferior. Sin embargo, estos autores advierten que estas dosis tan elevadas incrementan drásticamente la posibilidad de producir efectos secundarios adversos. Por otro lado, varios estudios han demostrado mejoras significativas en contracciones musculares máximas en los miembros inferiores, y en ejercicios específicos como un 1RM en press de banca, con dosis más moderadas de cafeína ($2.5\text{-}6\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). En cuanto al origen del aumento de fuerza máxima provocado por la ingesta de cafeína, Warren et al (2010), realizaron un meta-análisis sugiriendo que probablemente se deba al efecto producido en el SNC. Los autores encontraron que nueve investigaciones registraron el porcentaje de activación muscular durante una contracción máxima voluntaria (Tamaño del efecto= 0.67). Esto indica que la ingestión de cafeína puede incrementar el reclutamiento motor durante la contracción máxima voluntaria, lo que presumiblemente puede contribuir al incremento de la fuerza. Del Coso, Salinero, Gonzalez-Millan, Abian-Vicen, y Perez-Gonzalez (2012b) encontraron que la cafeína ($3\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), mejoraba la máxima fuerza muscular. Estos autores, percibieron una disminución del tiempo hasta alcanzar la máxima potencia muscular. Este efecto podría indicar una mejor coordinación intra e inter muscular durante la contracción muscular.

Es muy posible que sean necesarias más investigaciones en relación a la máxima producción de fuerza muscular y la cafeína, para determinar si esta sustancia puede ser considerada como una ayuda ergogénica eficaz, y para además, estandarizar una dosis mínima segura que pueda mejorar el rendimiento de los atletas.

Si hablamos ahora de la ingesta de cafeína y la potencia muscular, Del Coso et al. (2012b), encuentran mejoras significativas con $3\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de cafeína, en relación con la potencia máxima, máxima producción de fuerza y tiempo hasta alcanzar la máxima potencia, en los ejercicios de media sentadilla y press de banca, sin embargo, dosis de

(1 mg · kg⁻¹) no serían suficientes para provocar ese efecto ergogénico. Pallares et al. (2013), explican que dosis de 3 mg · kg⁻¹ son suficientes para mejorar las acciones musculares de fuerza y potencia frente a cargas bajas (25%-50% 1RM), tanto en ejercicios de tren superior (ej. press de banca), como de tren inferior (ej. sentadilla completa).

Centrando nuestra atención específicamente en la potencia muscular del tren inferior, es muy interesante observar como en los últimos 2 años se han publicado varios artículos de investigación, que han obtenido mejoras en el rendimiento relacionadas con la potencia muscular y el rendimiento en la altura del salto, con idénticas dosis de cafeína (3 mg · kg⁻¹) y protocolos semejantes. Del Coso et al. (2012a) y Del Coso et al. (2013) encontraron incrementos en la altura del salto y en la potencia muscular generada durante un test de 15 s en jugadores de fútbol semiprofesionales y jugadores internacionales de rugby 7. En relación a test específicos de salto como el CMJ y el Squat Jump, varias investigaciones han observado incrementos significativos en ambos test, tanto en la altura del salto, como en el pico de potencia del tren inferior, en jugadores de voleibol, bádminton y jugadoras del fútbol (Abian et al., 2015; Del Coso et al., 2014; Lara et al., 2014). En la literatura hemos encontrado algunas investigaciones que han obtenido incrementos de rendimiento en el salto similares a los obtenidos con la ingesta de cafeína, combinando el entrenamiento pliométrico con otros métodos durante varias semanas (Tricoli, Lamas, Carnevale, & Ugrinowitsch, 2005; Voelzke, Stutzig, Thorhauer, & Granacher, 2012). La cafeína parece haber demostrado su efectividad en relación con la capacidad de salto, además estas últimas investigaciones refuerzan la idea de que esta sustancia es una ayuda ergogénica eficaz comparable a semanas de entrenamiento específico.

Por tanto, aunque la ergogenicidad de la cafeína sigue estando en cuestión en relación con el incremento del rendimiento en la potencia muscular, parece evidente a la luz de las investigaciones recientes, que dicha sustancia en una dosis moderada y segura como 3 mg · kg⁻¹, puede ser una ayuda bastante interesante en deportes en los que la potencia muscular (tanto en miembros superiores como inferiores) sea determinante en el rendimiento.

Cafeína y resistencia muscular

A continuación abordaremos la relación existente entre cafeína y resistencia muscular. Warren et al. (2010) en su artículo de revisión, sugieren que la ingestión de cafeína aumenta la producción de fuerza en ejercicios realizados hasta la fatiga (~18%).

Si analizamos la efectividad de la cafeína y la resistencia muscular utilizando un ejercicio concreto como el press de banca, que como hemos visto anteriormente,

es específico para los deportes de lucha y combate y permite discriminar entre grupos de nivel en luchadores olímpicos (García-Pallares et al., 2011), y en atletas de BJJ (da Silva et al., 2014b). Varias investigaciones se han mostrado inefectivas para aumentar el rendimiento en el press de banca hasta la fatiga, utilizando una intensidad en torno a un 60-70% de 1RM, y con dosis que van de 2 a 6 mg · kg⁻¹ (Astorino et al., 2008; Eckerson et al., 2013; Green et al., 2007). Sin embargo, con el mismo ejercicio, el mismo rango de intensidades, y utilizando dosis similares (2-5 mg · kg⁻¹), otros autores sí han encontrado la ergogenicidad de la cafeína en relación a la resistencia muscular (Duncan, Smith, Cook, & James, 2012; Duncan, Stanley, Parkhouse, Cook, & Smith, 2013; Forbes, Candow, Little, Magnus, & Chilibeck, 2007).

Al igual que sucede con la fuerza máxima, sería necesaria más investigación y estandarización en protocolos para poder llegar a conclusiones inequívocas sobre este apartado.

Cafeína, metabolismo anaeróbico, lactato y rendimiento

La ingestión de cafeína y el aumento del nivel de lactato en sangre en comparación al placebo, han sido estudiados en relación con el aumento del metabolismo anaeróbico en pruebas de potencia deportiva.

En la literatura encontramos dos investigaciones que no relacionan la ingesta de cafeína (6 mg · kg⁻¹), con un aumento de la concentración de lactato en ejercicios repetidos de corta duración y máxima intensidad, es decir, la ingesta de cafeína no modificó ni el rendimiento, ni la concentración de lactato sanguíneo. En el primer estudio, Greer, McLean, y Graham (1998) examinaron la potencia máxima y media en cuatro test repetidos (ej. Wingate, 30-s). La cafeína no provocó un incremento significativo de lactato sanguíneo, aunque sí hubo un aumento de la concentración de amoníaco, sugiriendo que este subproducto del metabolismo anaeróbico pudo ser responsable del incremento de la fatiga en los test posteriores. Por último, los autores no encontraron mejoras de rendimiento con esta sustancia. En la segunda investigación Pruscino, Ross, Gregory, Savage, y Flanagan (2008), observaron las diferencias entre la administración de cuatro sustancias, cafeína, bicarbonato, cafeína más bicarbonato y placebo, en la realización de dos pruebas máximas de 200 m en natación. Sugieren que el efecto de la cafeína por sí sola es limitado, aumentó el rendimiento en la primera repetición, pero tuvo un impacto negativo en la segunda, este hecho se corrigió con el bicarbonato.

Finalmente, encontramos una investigación desarrollada con luchadores, en la que se le administraban (5 mg · kg⁻¹), y en la que realizaban varios test consecutivos de

potencia específicos. Los autores sí observaron mayores valores de lactato sanguíneo con la ingesta de cafeína, sin embargo, se sugirió que estos mayores niveles de lactato afectaban al proceso de recuperación, y no sólo no mejoraban el rendimiento de los ejercicios posteriores, sino que los perjudicaban (Aedma, Timpmann, & Oopik, 2013).

Por otro lado, encontramos otras investigaciones que sugieren una relación positiva entre la ingesta de cafeína, el aumento de la concentración de lactato en sangre, y el incremento en el rendimiento en pruebas sucesivas de potencia máxima. Los primeros en observarlo fueron Anselme, Collomp, Mercier, Ahmaidi, y Prefaut (1992), concluyendo que la ingesta de cafeína (250 mg) incrementaba la potencia máxima y la concentración de lactato sanguíneo. En esta misma línea, con estudios a doble ciego y con dosis de cafeína entre 5-6 mg · kg⁻¹, diferentes investigaciones han encontrado incrementos significativos en los niveles de lactato y a la vez, en los parámetros de rendimiento analizados. En primer lugar, durante la realización de una prueba máxima de 2 min (Jackman, Wendling, Friars, & Graham, 1996). En ejercicios intermitentes cortos de alta intensidad (ej. 12 x 30 m; con 35 s de descanso) (Glaister et al., 2008). En ejercicios intermitentes cortos de alta intensidad prolongados en el tiempo (ej. 18 x 4-s sprints con 2 m de recuperación activa durante 2 x 36 m de volumen total) (Schneiker et al., 2006). Además con similares dosis de cafeína, en una prueba de fuerza resistencia hasta el fallo se registraron datos de lactato sanguíneo y de rendimiento más elevados con esta sustancia (Duncan & Oxford, 2012). Por último, la ingesta de 3 mg · kg⁻¹ de cafeína en nadadores velocistas de élite provocó niveles más altos de concentración de lactato tras un ejercicio de alta intensidad, una mayor potencia pico durante un test de nado simulado en un ergómetro, y un mejor tiempo en una prueba de 50 m (Lara, 2013).

Por tanto, un aumento en los niveles de lactato representa de manera indirecta una mayor utilización del sistema anaeróbico (Nevill, Boobis, Brooks, & Williams, 1989), aunque Pruscino et al. (2008), explican que no se relaciona directamente con el aumento del rendimiento. En conclusión, observando la bibliografía publicada, se puede sugerir que el incremento en el metabolismo anaeróbico en pruebas de máxima velocidad y potencia repetidas en el tiempo, puede estar directamente relacionado con la ingestión de cafeína, sin embargo, aún no está claro científicamente que el aumento de rendimiento producido sea consecuencia de ello. Se abren posibles líneas de investigación encaminadas en este sentido.

Cafeína y deportes de combate

La eficacia de la cafeína en deportes de lucha como el judo y la lucha libre olímpica está siendo cuestionada actualmente, no obstante, es sabido que los atle-

tas de élite de ambas disciplinas consumen esta sustancia en competiciones oficiales (Del Coso et al., 2011). Para apoyar esta última afirmación, Froiland, Koszewski, Hingst, y Kopecky (2004), realizaron un estudio nutricional en atletas universitarios en el que observaron que la cafeína tenía una mayor frecuencia de consumo en luchadores que en el resto de especialidades deportivas investigadas.

Bajo el conocimiento de este autor, no existen muchas investigaciones relacionadas con los citados deportes y la cafeína, específicamente en BJJ no hemos encontrado ninguna. A continuación, vamos a desarrollar brevemente los estudios científicos encontrados en la literatura.

Lopes-Silva, Felipe, Silva-Cavalcante, Bertuzzi, y Lima-Silva (2014) realizaron un estudio a doble ciego (placebo, cafeína) con 6 judokas a los que se les sometía durante 5 días a un procedimiento de pérdida de peso, en el cual los atletas reducían en torno a un ~5% de su masa corporal. Después del pesaje los sujetos se rehidrataban y se reponían durante 4 horas, en este período de reposición a los judokas se les administraban $6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de cafeína. Una hora más tarde realizaban un test validado y específico que cuantifica el rendimiento en judo (Special Judo Fitness Test). Estos autores no encontraron diferencias de rendimiento con la aplicación de cafeína en el test específico, aunque sí obtuvieron una disminución significativa en la escala de esfuerzo percibido (RPE) y también un aumento de la concentración de lactato plasmático cuando se les administraba la cafeína. Por otro lado, es interesante observar las limitaciones de esta investigación en algunos aspectos tales como el tamaño de la muestra ($n = 6$ atletas). En segundo lugar, habría que tener en cuenta que el proceso de disminución de peso y posterior reposición rápida, podría ser una variable contaminante que afectase de alguna forma al efecto ergogénico que tiene la cafeína en relación al rendimiento en este deporte.

Dos investigaciones muy similares fueron realizadas a 10 y 12 judokas de élite respectivamente (Souissi et al., 2012; Souissi et al., 2014). Ambas evaluaban el efecto ergogénico de la cafeína ($5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) en el estado de ánimo, el tiempo de reacción simple, y la potencia muscular durante el test de Wingate. La diferencia radicaba en que en la primera investigación, se realizaban las pruebas en una sesión de tarde (17:00 h) y en la otra en sesión matinal (07:00 h). Los resultados de ambos estudios revelaban que la cafeína provocaba un incremento de la ansiedad y el vigor, y una disminución del tiempo de reacción. Sin embargo, en cuanto a los efectos de esta sustancia en la potencia desarrollada en el test de Wingate, se observan mejoras significativas (potencia media y máxima) en la investigación realizada por la mañana, que no fueron observadas en la investigación que se llevó a cabo por la tarde.

Estas variaciones entre mañana y tarde, podrían deberse a que la cafeína minimiza las variaciones diurnas que influyen en el rendimiento en actividades máximas de corta duración, según los mismos autores. Es preciso significar el hecho de que, si bien estas investigaciones están realizadas con judokas de alto nivel, no se utilizaron habilidades específicas del deporte en cuestión.

Aedma et al. (2013) llevaron a cabo una investigación con 14 luchadores (ej. *Submission wrestling*), su objetivo era observar si la cafeína ($5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) podía mantener el pico de potencia y la potencia media durante 4 repeticiones de un protocolo intermitente de potencia de los miembros superiores (ej. test de wingate para brazos), la duración del test era de 6 minutos, con 30 minutos de recuperación entre cada repetición. Con este protocolo se pretendía simular un día de competición en un campeonato de lucha. Los resultados fueron que la ingesta de cafeína no sólo no mejoraba, sino que disminuía el rendimiento en el test comentado. Los autores tampoco encuentran diferencias en cuanto al ratio de esfuerzo percibido, pero sí sugieren que los elevados datos registrados con la ingesta de cafeína, tanto de frecuencia cardíaca como de lactato sanguíneo, podrían dificultar el proceso de recuperación entre combates. La principal limitación del estudio, reside en el test utilizado (wingate de brazos). Esta prueba se realizaba en un cicloergómetro en el que se sustituyen los pedales por agarres para las manos, y se modificaba la posición del cuerpo del atleta para que pudiera realizar el sprint con los miembros superiores. Dicho test, aunque está validado como instrumento para medir la condición física de los luchadores (Hickner et al., 1991), no es determinante para diagnosticar el rendimiento de un atleta en una competición (García-Pallares et al., 2011), por lo que no es un indicador válido para saber si la cafeína es una ayuda ergogénica eficaz en el rendimiento específico de los atletas durante la lucha.

Finalmente, destacamos una reciente investigación realizada en un deporte de combate como es el taekwondo (Santos et al., 2014), en el que 10 atletas ingirieron $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de cafeína. Después realizaban un test específico de velocidad de reacción y dos combates simulados con 20 minutos de descanso entre ellos. Las conclusiones y aplicaciones prácticas de este estudio fueron: En primer lugar que la suplementación con cafeína puede ser utilizada para reducir el tiempo de reacción en una tarea específica de taekwondo. En segundo lugar, los autores sugieren que los entrenadores y los atletas deben considerar la cafeína si necesitan incrementar la intensidad de un combate. En tercer lugar, cuando los atletas realizan varias luchas en un mismo día, la suplementación con cafeína puede retrasar la fatiga y mejorar el rendimiento de las luchas. Por último, la cafeína es interesante además de para su posible uso en competición, para incrementar la intensidad de las sesiones de entre-

namiento. Los propios autores señalan una limitación en su investigación aplicable a la mayoría de investigaciones realizadas con un formato similar, dicha limitación es relativa a la magnitud de la respuesta de la cafeína en diferentes sujetos, y que puede clasificarlos en “*responder*” y “*no responder*”. Esta variabilidad en la respuesta puede deberse en parte, a un polimorfismo de nucleótido simple que parece influir en los resultados clínicos de la ingestión de cafeína y que hace que unos individuos tengan un efecto ergogénico mayor que otros cuando consumen esta sustancia (Santos et al., 2014; Womack et al., 2012).

La cafeína por lo tanto, puede ser una firme candidata para mejorar el rendimiento en los deportes de combate, debido a los conocidos efectos que hemos venido desarrollando en otras actividades y disciplinas deportivas con exigencias físicas y fisiológicas similares. Sin embargo, la escasa y controvertida investigación en este ámbito, no nos permite concluir si la cafeína puede ser recomendada para incrementar el rendimiento deportivo en los deportes de combate en general y en el Brazilian Jiu-jitsu en particular.

Cafeína y dopaje

De acuerdo con la agencia mundial antidopaje (AMA), el uso de una sustancia antes o durante una competición podría ser prohibida siempre y cuando se cumplan 2 de los 3 criterios que citamos a continuación. 1. Incrementar el rendimiento deportivo; 2. Poner en riesgo la salud del deportista con su ingesta; 3. Violar el espíritu del deporte (Del Coso et al., 2011; WADA, 2015). Para ello la AMA elabora cada año una lista de sustancias prohibidas en la competición deportiva.

En 1984 la cafeína fue incluida en la lista de sustancias dopantes para diferenciar el uso social de la cafeína de los intentos de doping. Las autoridades antidopaje fijaron un umbral de 15 µg de cafeína por cada 1ml de orina, como límite para que los deportistas fueran sancionados por el consumo de esta sustancia. En 1985 la limitación se redujo a 12 µg de cafeína por cada 1ml. El límite en la concentración de orina fue controvertido porque, como hemos visto anteriormente, dosis de entre 3 y 6 mg por kilo de masa son suficientemente eficaces para aumentar el rendimiento, mientras que la concentración de orina derivada de la ingestión de estas dosis es inferior a 12 µg/ml (Del Coso et al., 2011).

Van Thuyne, Roels, y Delbeke (2005) recopilaron 11 361 muestras de orina obtenidas en controles de dopaje desde 1993 hasta 2002. Ellos encontraron que 8361 muestras contenían cafeína (74%), pero tan sólo 16 casos superaban la dosis prohibida de 12 µg/ml. La ineficacia del umbral de cafeína en orina, para distinguir

entre los consumidores sociales y los deportistas que abusaban de la cafeína en el deporte, fue una de las principales razones por las que la Agencia Mundial Antidopaje (AMA), eliminó la cafeína de la lista de sustancias prohibidas en Enero de 2004. Desde entonces, los deportistas pueden consumir cafeína o productos que contengan cafeína libremente. No obstante, la cafeína sigue estando presente en el Programa de monitorización de la AMA, (Figura 11) por lo que existe la posibilidad de que vuelva a incluirse en la lista de sustancias prohibidas (Del Coso et al., 2011; Van Thuyne et al., 2005). Por último, Spriet (2014) hace una reflexión interesante en este sentido, comenta que es irónico observar como la mayoría de las investigaciones con dosis bajas de cafeína ($\leq 3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), llevadas a cabo para observar incrementos en el rendimiento deportivo, se han realizado en los últimos 10 años, una vez que como hemos visto, la cafeína fuera excluida de la lista de sustancias prohibidas. Según este autor, podría haberse esperado que el uso de dosis más elevadas de cafeína aumentase, sin embargo, la mayoría de las investigaciones siguen utilizando dosis moderadas ($5\text{-}6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) o bajas ($< 3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

THE 2014 MONITORING PROGRAM*

The following substances are placed on the 2014 Monitoring Program:

- 1. Stimulants:** ***In-Competition only:** Bupropion, caffeine, nicotine, phenylephrine, phenylpropanolamine, pipradrol, pseudoephedrine (< 150 micrograms per milliliter), synephrine.*
- 2. Narcotics:** ***In-Competition only:** Hydrocodone, mitragynine, morphine/codeine ratio; tapentadol; tramadol.*
- 3. Glucocorticosteroids: Out-of-Competition only**

* The *World Anti-Doping Code* (Article 4.5) states: "WADA, in consultation with Signatories and governments, shall establish a monitoring program regarding substances which are not on the Prohibited List, but which WADA wishes to monitor in order to detect patterns of misuse in sport."

Figura 11. *Sustancias en el programa de monitorización de la WADA.*

Cafeína, efectos secundarios y dosis adecuada

En cuanto a los efectos secundarios, la ingesta de cafeína o productos con cafeína está acompañada por varios efectos secundarios adversos como insomnio, nerviosismo, inquietud, irritaciones gástricas, náuseas, vómitos, taquicardia, temblores y ansiedad (Clauson, Shields, McQueen, & Persad, 2008).

Varias agencias nacionales e internacionales de toxicología, han informado sobre múltiples efectos adversos asociados a un consumo incontrolado de bebi-

das energéticas con cafeína, incluyendo daño hepático, insuficiencia renal, agitación, convulsiones, taquicardia, arritmias cardíacas, hipertensión y muerte súbita. El mínimo y el máximo nivel sintomático se ha notificado en $4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en un paciente de 13 años, y $36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en un paciente de 14 años de edad respectivamente (Salinero et al., 2014; Seifert, Schaechter, Hershorin, & Lipshultz, 2011).

Las diferentes dosis administradas a los deportistas están directamente relacionadas con la aparición de efectos secundarios agudos. Se han encontrado incrementos drásticos en la frecuencia de efectos secundarios con la ingestión de dosis de 9 mg por kg de peso; Incrementos en el insomnio (54%), aumento de la producción de orina (54%) y problemas gastrointestinales (38%) principalmente, comparados con el consumo de 3 o $6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Dosis de $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de masa corporal, no aumentan otros efectos secundarios como los problemas gastrointestinales o el insomnio (Del Coso et al., 2012b; Pallares et al., 2013).

Por otro lado, la ingesta de cafeína no sólo causa efectos secundarios adversos, sino que también puede incrementar factores psicofisiológicos relacionados con el esfuerzo al realizar ejercicio (Duncan et al., 2012; Salinero et al., 2014). El consumo de cafeína ha demostrado cambios en el estado anímico en relación con el ejercicio, también aumenta la percepción de vigor y reduce la fatiga significativamente comparada con el placebo (Duncan & Oxford, 2011). Además, el consumo de esta sustancia se muestra muy eficaz para reducir el ratio de esfuerzo percibido (RPE) durante el ejercicio (Doherty & Smith, 2005; Duncan & Hankey, 2013; Duncan & Oxford, 2012; Duncan et al., 2012; Duncan et al., 2013), desciende la percepción de dolor muscular (Duncan & Hankey, 2013; Duncan et al., 2013) e incrementa la predisposición para realizar un esfuerzo (Duncan & Hankey, 2013; Duncan et al., 2012).

La cafeína también se ha mostrado ergogénica en relación con el control en la ejecución, la memoria de trabajo, y para reducir los tiempos de reacción en tareas simples y múltiples (Giles et al., 2012; Haskell, Kennedy, Wesnes, & Scholey, 2005).

En cuanto a la diferencia entre sexos, Salinero et al. (2014) no encuentran diferencias significativas en los efectos secundarios que percibieron los participantes del estudio con el consumo de una bebida energética con contenido de cafeína ($3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Por último abordamos el tema de la dosis adecuada a utilizar, dosis moderadas en torno a $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de peso corporal, incrementan la sensación de vigor y activación, y como hemos visto a lo largo del desarrollo de este apartado, son sufi-

cientemente eficaces para provocar beneficios en relación con el rendimiento atlético y deportivo en comparación con el placebo. Además están asociadas con muy pocos o ningún efecto secundario (Del Coso et al., 2012b; Pallares et al., 2013; Spriet, 2014).

Con respecto a dosis bajas, (~ 200 mg) parecen ser las más adecuadas para mejorar la vigilancia, el humor, el estado de alerta, la orientación y el control ejecutivo, cuando las comparamos con placebo, o con otras dosis diferentes de cafeína (Brunye, Mahoney, Lieberman, & Taylor, 2010; Olson, Thornton, Adam, & Lieberman, 2010). Además estas dosis bajas, pueden ser óptimas también para mejorar la capacidad de decisión durante el ejercicio prolongado, por lo que serían útiles en deportes donde la toma de decisiones es importante para el final de un evento o juego (Hogervorst et al., 2008; Spriet, 2014).

Por lo tanto, parece interesante realizar una reflexión en relación a la dosis adecuada para utilizar con nuestros deportistas, tanto en investigación científica, como en sesiones de entrenamiento o competición. Una vez revisada la literatura científica, y teniendo en cuenta los beneficios obtenidos en el rendimiento deportivo, frente a los efectos secundarios agudos percibidos con el consumo de cafeína. Se puede considerar la dosis de $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de peso corporal, como la más adecuada para la realización de futuras investigaciones en nuestro ámbito.

Para cerrar este apartado, y una vez realizada la revisión sobre las investigaciones publicadas hasta la fecha, se van a establecer una serie de conclusiones en relación con la cafeína y el rendimiento deportivo (Figura 12):

1. Los atletas de élite consumen habitualmente cafeína antes de las competiciones.
2. Para que sea eficaz, hay que tomarla unos 45-60 minutos antes de realizar ejercicio, ya que alcanza su pico plasmático a los 45 min.
3. Hay consenso en la literatura científica sobre la ergogenicidad de la cafeína en actividades de resistencia máxima prolongadas en el tiempo.
4. Parece claro que la cafeína es una ayuda ergogénica eficaz que mejora la realización de sprints repetidos prolongados en el tiempo y aumenta la capacidad de salto, habilidades directamente relacionadas con los deportes de equipo.
5. Reduce la fatiga, el ratio de esfuerzo percibido (RPE), y aumenta el vigor y la activación.
6. La dosis adecuada teniendo en cuenta los beneficios de rendimiento que presenta la cafeína y los efectos secundarios que se producen a nivel agudo, podemos decir que está entre 3 y $6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Específicamente se recomiendan $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

7. Existen varias controversias relacionadas con la cafeína y el rendimiento:
- a. En relación a las actividades de fuerza y potencia muscular. Sin embargo, las investigaciones más recientes apuntan que el consumo de cafeína puede incrementar la potencia tanto en miembros superiores como inferiores.
 - b. En cuanto a la fuerza máxima y resistencia muscular, sería necesaria más investigación y una homogeneización en protocolos, dosis etc..
 - c. La cafeína aumenta la activación del metabolismo anaeróbico, pero no está del todo claro, que esto sea una consecuencia directa del rendimiento deportivo.
 - d. En deportes de lucha y combate, creemos que podría ser un potente ergogénico, pero la investigación actual es escasa y no es concluyente.

CAFEÍNA Y RENDIMIENTO DEPORTIVO

Sobre estas 6 ideas hay consenso en la literatura científica:

01

Los atletas de **élite** consumen habitualmente cafeína antes de las competiciones.

02

Para que sea eficaz hay que tomarla unos **45-60 minutos** antes de realizar ejercicio, ya que alcanza su pico plasmático a los 45 min.



03



Ayuda de manera eficaz en actividades de **resistencia máxima** prolongadas en el tiempo.

04

Mejora la realización de sprints repetidos, y aumenta la capacidad de salto, habilidades directamente relacionadas con los **deportes de equipo**.



05

RPE



Reduce la **fatiga**, el ratio de esfuerzo percibido (**RPE**), y aumenta el **vigor y la activación**.

06

La **dosis** recomendada, considerando tanto los beneficios en el rendimiento como los efectos secundarios (ej. insomnio, rigidez muscular, etc.), se sitúa entre **3 y 6 mg** por kg de peso.



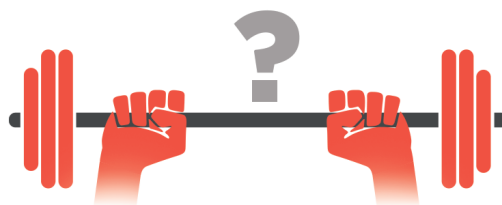
Sin embargo, otros efectos no están tan claros:



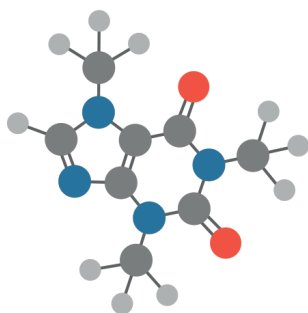
En relación con la **potencia muscular**, tanto en miembros superiores como inferiores, se ha discutido su eficacia, aunque investigaciones recientes indican su ergogenicidad.

01

En cuanto a la **fuerza máxima y resistencia muscular**, sería necesaria más investigación y una homogeneización en protocolos, dosis etc..



02



La cafeína aumenta la activación del **metabolismo anaeróbico**, pero se discute que sea una consecuencia directa del rendimiento deportivo.



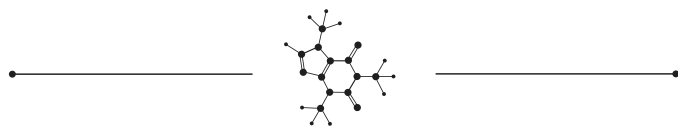
03

En **deportes de lucha y combate**, podría ser un potente ergogénico, pero la investigación actual es escasa y no es concluyente.



04

Figura 12. Cafeína y rendimiento deportivo.



4 Parte Empírica. Estudios Aplicados

*"Si lo fácil lo haces difícil...
lo difícil, te resultará imposible"*

José Luis De Frutos



El trabajo se ha estructurado en 4 estudios de investigación, cuyo denominador común es el Brazilian Jiu-jitsu (Tabla 7). Los dos primeros estudios están encaminados a la identificación de variables de rendimiento importantes en el deporte en el contexto de la competición. En los siguientes dos estudios, se pretendió averiguar si la cafeína podía ser una ayuda ergogénica eficaz que permitiese incrementar el rendimiento en competición de las variables identificadas en los primeros estudios.

En el primer estudio, el propósito fue identificar los valores condicionales que tienen impacto directo en la competición y que podían aproximar a los atletas a la excelencia deportiva, para ello utilizamos el paradigma experto-novato y testamos a los atletas previamente a su participación en una competición internacional.

Después se realizó el estudio 2, en el que se llevó a cabo un análisis de los efectos agudos que produce una competición oficial de BJJ sobre los atletas en la fuerza y la capacidad glucolítica, tanto en relación a la producción de lactato sanguíneo como en su posterior recuperación. Este tipo de estudios en competición son muy escasos en la bibliografía consultada, desde nuestro punto de vista, aportan datos novedosos y reales de las demandas físicas y fisiológicas del deporte que estamos analizando.

Posteriormente desarrollamos el estudio 3, abordamos uno de los temas que más se están investigando actualmente, como es el caso de las ayudas ergogénicas y en particular sobre la cafeína. Basándonos en investigaciones científicas previas, nos planteamos el objetivo de delimitar las principales manifestaciones de la fuerza que se utilizan en Brazilian Jiu-jitsu, para finalmente analizar si una cantidad moderada de cafeína podía mejorar el rendimiento muscular de las diferentes variables observadas.

Por último, nos quedaba por observar si las mejoras producidas con la ingesta de cafeína en relación a la fuerza muscular, se podían trasladar al contexto específico de un combate. Este último trabajo contiene un diseño complejo que mezcla un estudio a doble ciego (cafeína/placebo), con el análisis de las acciones

de 2 combates, y con la aplicación de varios test y análisis específicos realizados en diferentes momentos de la investigación. Por este motivo pensamos que podría poner el colofón a la presente tesis doctoral.

En cuanto a la muestra obtenida, en los dos primeros estudios se analizaron atletas con diferentes niveles, con la dificultad añadida que estaban inmersos en una competición muy importante dentro de la temporada, y los atletas se comprometieron a venir antes y después de competir a nuestro laboratorio para que les realizáramos test físicos. En los estudios 3 y 4, se intentó seleccionar a atletas de un nivel élite que residen en nuestro país. Aunque realizaron la investigación un número más elevado de atletas (ej. 21), nos quedamos finalmente con 14 participantes, debido por un lado a las lesiones y por otro para ser estrictos con el diseño en cuanto a la categorización de los atletas.

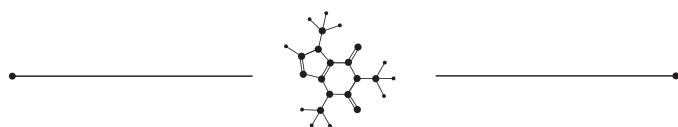
El objetivo final de este proceso ha sido la divulgación y publicación del trabajo realizado. De los 4 estudios realizados, dos de ellos están publicados en revistas con índice de impacto JCR (*Journal citation report*) (Anexos 3 y 4) y los dos últimos se encuentran actualmente en proceso de revisión.

Tabla 7. Esquema de las principales características metodológicas de los estudios realizados en la presente Tesis Doctoral.

	ARTÍCULO 1	ARTÍCULO 2	ARTÍCULO 3	ARTÍCULO 4
DISEÑO	Estudio observacional, descriptivo, de carácter transversal, de comparación de medias realizado en el European Open Jiu-Jitsu Championship 2013 en Lisboa.	Estudio observacional, descriptivo de comparación de medias realizado en el European Open Jiu-Jitsu Championship 2013 en Lisboa.	Diseño experimental a doble ciego aleatorizado y controlado, de cafeína (3 mg por kg de peso) y placebo (0 mg por kg de peso). Realizado en dos sesiones diferentes con una semana de diferencia entre ambas.	Diseño experimental a doble ciego aleatorizado y controlado, de cafeína (3 mg por kg de peso) y placebo (0 mg por kg de peso). Realizado en dos sesiones diferentes con una semana de diferencia entre ambas.
PARTICIPANTES	56 atletas varones practicantes de Brazilian Jiu-jitsu, divididos en dos grupos: Expertos = 32, y Novatos = 24	26 atletas varones practicantes de Brazilian Jiu-jitsu, clasificados como "Expertos".	14 atletas varones, practicantes de Brazilian Jiu-jitsu, clasificados como "élite".	14 atletas varones, practicantes de Brazilian Jiu-jitsu, clasificados como "élite".
VARIABLES MEDIDAS	Mediciones tomadas antes de la 1ª lucha: Composición corporal, prensión isométrica máxima manual, altura, pico de potencia, velocidad y fuerza en el pico de potencia y potencia media en un CMJ.	Mediciones tomadas pre-post 1ª lucha: Composición corporal, Prensión isométrica máxima manual. Altura, velocidad y fuerza en el pico de potencia y potencia media en un CMJ. Máxima producción de lactato sanguíneo, y ratio de aclarado.	Composición corporal, prensión isométrica máxima manual, altura en un CMJ, tiempo en MSL, 1 RM, máxima potencia y resistencia de fuerza hasta la fatiga, en press de banca.	Test físicos medidos pre y post combates (CMJ, presión manual, máxima potencia en press de banca). Acciones de máxima intensidad y acciones con éxito durante 2 combates simulados. Muestras de lactato sanguíneo, recogidas pre y post combates.
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	Normalidad con Shapiro-Wilk, t de Student para muestras independientes, y la prueba de Mann-Whitney para distribución no paramétricas. $P < 0.05$.	Normalidad con Shapiro-Wilk, t de Student para muestras dependientes (pre post lucha), y la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon para distribución no paramétricas. $P < 0.05$.	Normalidad con Shapiro-Wilk, t de Student muestras dependientes de las variables que solo necesitaban una medición en cada ensayo. Prueba de ANOVA para los test progresivos y la prueba McNemar para detectar diferencias en la prevalencia de efectos secundarios. $P < 0.05$.	ANOVA de dos factores (instante x grupo) con medidas repetidas. Se utilizó la corrección de Geisser-Greenhouse para la asunción de la esfericidad. Cuando la ANOVA indicó un efecto principal significativo, se realizó un análisis Post-hoc con el ajuste de Bonferroni. $P < 0.05$.

CMJ: Salto con contramovimiento; MSL: Tiempo de permanencia de agarre específico;

1 RM: 1 Repetición Máxima.



4.1 Estudio 1

Composición corporal, fuerza isométrica de prensión manual y fuerza explosiva de los miembros inferiores, diferencias entre novatos y expertos en una competición internacional de Brazilian Jiu-jitsu

4.1.1 Objetivos

El objetivo de esta investigación fue analizar las similitudes y diferencias en relación a la composición corporal, y a dos variables de rendimiento en los atletas de Brazilian Jiu-jitsu como son la fuerza isométrica máxima de prensión y la fuerza explosiva de los miembros inferiores.

4.1.2 Material y métodos

Sujetos

Tomaron parte en el estudio cincuenta y seis atletas de BJJ, participantes en el *European Open Jiu-Jitsu Championship 2013* en Lisboa (Portugal) procedentes de 16 países diferentes (Fig. 13). Se dividieron en dos grupos, expertos y novatos. Los criterios utilizados para separar los grupos fueron la experiencia y el nivel de entrenamiento en esta disciplina. Se consideró como expertos, aquellos que tenían más de 4 años de entrenamiento en BJJ y una graduación desde cinturón morado hasta cinturón negro; mientras que los atletas novatos fueron aquellos que tenían menos de 4 años de experiencia en el deporte y estaban graduados como cinturones azules o blancos. El grupo de novatos estaba integrado por 24 atletas (16 cinturones azules y 8 blancos). El grupo de expertos estaba formado por 32 atletas (17 cinturones negros, 7 marrones y 8 morados) (Tabla 8). Todos los participantes fueron informados sobre la naturaleza y el propósito de nuestro estudio, así como de las mediciones que se les iban a realizar. Después de ello, los participantes firmaron un consentimiento que permitía a los investigadores tomar las mediciones oportunas y utilizar los datos con propósitos científicos. El estudio fue aprobado por el comité de ética de la universidad Camilo José Cella según los criterios vigentes de la Declaración de Helsinki.



Figura 13. *European Open Jiu Jitsu 2013. Pabellón Casal Vistoso (Lisboa).*

Protocolos

El *European Open Championship 2013* (IBJJF) se celebró en el Pabellón Casal Vistoso, Lisboa (Portugal). La organización nos facilitó una sala cercana a los tatamis para poder realizar las mediciones oportunas (Figura 14). A la llegada a la sala, los participantes se familiarizaron con los instrumentos de medida correspondientes a los test de máxima intensidad que les íbamos a realizar (ej. salto con contramovimiento y máxima fuerza de prensión manual), firmaron el documento de consentimiento y rellenaron una ficha con información relativa a sus años de práctica, horas de entrenamiento semanal, mejor resultado obtenido en competición el presente año, años de práctica en BJJ y mano dominante. Después, se les midió la estatura (SECA Ltd, Alemania. Con una sensibilidad de ± 0.1 cm), la masa corporal (Radwag, Polonia. Con una sensibilidad de ± 0.05 kg) y la composición corporal (BC-418. Tanita Corp. Tokyo. Japón). Se utilizaron los estándares establecidos para calcular el porcentaje de grasa y de músculo de cada sujeto (Moon et al., 2009). Todos los participantes realizaron la prueba antes de su primera lucha, y después de haber

completado 20 minutos de calentamiento específico. En la prueba de máxima prensión manual, los sujetos realizaron un movimiento de prensión en un dinamómetro manual (Takei Scientific Instruments Co. Japón) con la máxima fuerza que podían ejercer. Se realizaron dos intentos con el codo extendido, el brazo paralelo al cuerpo y la muñeca en posición neutra, de acuerdo con las indicaciones propuestas por varios autores (España-Romero et al., 2010; Iglesias et al., 2003; Segura-Orti & Martínez-Olmos, 2011). Hubo un descanso de 1 minuto entre ambos intentos y el valor más elevado se eligió para el análisis posterior. Para el test CMJ, los participantes saltaron en una plataforma de contacto Quattro Jump (Kistler, Suiza), con las manos en la cadera durante todo el salto. El ángulo de flexión de rodilla durante el test CMJ, fue elegido libremente por el sujeto. Se eligió para el análisis el salto más alto de los tres intentos que se realizaron, con 1 minuto de descanso entre ellos. Para el test de salto, el resultado de la máxima potencia se determinó a partir de la fuerza de reacción del suelo (F). Para este cálculo, se colocó la velocidad vertical inicial del sistema en cero. Las fuerzas de reacción verticales fueron registradas con una frecuencia de 500 Hz y se dividieron por el peso corporal, para determinar el punto exacto del instante de aceleración ($A_{inst} = F_{inst} / \text{peso}$). La aceleración de la gravedad se resta de la aceleración calculada para asegurar que sólo la aceleración producida por los participantes durante el salto se utiliza para determinar la velocidad. La velocidad vertical instantánea (V_{inst}) se integró partir de la aceleración. La constante de integración fue cero porque no había ningún movimiento inicial. La potencia instantánea (P_{inst}) se calculó como el producto de la fuerza y la velocidad ($P = F_{inst} \times V_{inst}$) en cualquier punto dado. El promedio de potencia de la fase de impulso (fase concéntrica del salto) se utilizó para el análisis estadístico. La altura del salto fue determinada por el tiempo de vuelo. El tiempo de vuelo es la diferencia entre el primer instante de despegue y el primer instante de aterrizaje, asumimos que la altura del centro de gravedad en el instante del aterrizaje, fue la misma que en el instante del despegue, y utilizamos la ecuación para calcular la altura del salto propuesta por Linthorne (2001). La altura del centro de gravedad se calculó por el método de doble integración (trabajo-energía) del registro de fuerza-tiempo basado en Linthorne (2001). En total, se evaluaron 8 variables diferentes: Altura del salto (H) calculada a partir del tiempo de vuelo medido en cm; Posición del centro de gravedad en el punto más alto en la fase de vuelo (H_f) medido en cm; La potencia máxima durante la fase de despegue normalizado para la masa del atleta (PP) medido en $W \cdot kg^{-1}$; Velocidad en el pico de potencia (V_{pp}) medida en $m \cdot s^{-1}$; Fuerza en el pico de potencia (F_{pp}) medida en N; Potencia media (AP) se mide en $W \cdot kg^{-1}$; Trayectoria vertical del centro de gravedad entre los instantes de despegue y primera hora del aterrizaje (L_r) medido en cm; Segundo pico de potencia en el aterrizaje (F_2) medido en BW.



Figura 14. Sala anexa a los tatamis.

Análisis estadístico

Se utilizó el programa SPSS v. 19.0 (SPSS Inc., USA) para realizar los cálculos en las pruebas estadísticas descriptivas e inferenciales. Inicialmente, se analizó la normalidad en todas las variables con la prueba de Shapiro-Wilk. Se utilizó la prueba *t* de Student para muestras independientes para establecer las diferencias entre el grupo de novatos y el grupo de expertos en las variables que presentaron una distribución normal. Para las variables mostraron una distribución no paramétrica, las diferencias entre expertos y novatos se establecieron con la prueba de la U de Mann-Whitney. El criterio de significación estadística se estableció en $P < 0.05$. Todos los datos se presentan como media \pm desviación estándar.

4.1.3 Resultados

En cuanto a las características de los sujetos, se observaron resultados similares entre el grupo de expertos y novatos en la mayoría de las variables (edad, masa corporal, talla, % grasa). Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los expertos y novatos en los años de experiencia y el entrenamiento (horas por semana) (Tabla 8).

Tabla 8. Características de los atletas de Brazilian Jiu-jitsu expertos y novatos.

Los datos se muestran con la media \pm la desviación estándar para 56 atletas de Brazilian Jiu-jitsu.

Variables	Novatos n = 24	Expertos n = 32	Δ (%)	Valor P	Tamaño efecto
Edad (años)	29.9 \pm 5.8	30.5 \pm 4.7	1.95	0.341	0.1
Masa (kg)	75.7 \pm 9.3	77.4 \pm 11.3	2.2	0.276	0.2
Talla (cm)	177.1 \pm 5.8	175.6 \pm 6.6	-0.8	0.187	0.2
Músculo (kg)	69.4 \pm 6.9	70.6 \pm 9.7	1.7	0.307	0.1
% Grasa	9.3 \pm 3.7	9.1 \pm 4.6	-2.1	0.432	0.0
Experiencia (años)	3 \pm 1.1	9.5 \pm 4.6	217.2	<0.001*	2.2
Entrenamiento (horas semana)	9.4 \pm 2.6	13.1 \pm 3.8	39.3	<0.001*	1.1

*Diferencias en $P < 0.05$

Los expertos obtuvieron mayores valores en la máxima fuerza isométrica de prensión que los novatos. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.01$), en ambas manos, derecha e izquierda (Tabla 9).

En el CMJ, se encontraron diferencias significativas a favor de los expertos en: Altura de salto. Posición del centro de gravedad en el punto más alto en la fase de vuelo; Pico de Potencia. Velocidad en el pico de potencia. Potencia media y se encontró una tendencia en el grupo de expertos para la trayectoria vertical del centro de gravedad. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre expertos y novatos en la fuerza en el momento en que se alcanzó el pico de potencia (Tabla 10).

Tabla 9. Máxima fuerza isométrica de prensión en atletas de Brazilian Jiu-jitsu.

Los datos se muestran con la media \pm la desviación estándar para 56 atletas de Brazilian Jiu-jitsu.

N	Novatos n = 24	Expertos n = 32	Δ (%)	Valor P	Tamaño efecto
Mano izquierda (kgf)	43.3 \pm 6.6	49.1 \pm 7.0	13.4	0.001*	0.8
Mano derecha (kgf)	43.6 \pm 7.1	48.6 \pm 6.1	11.4	0.004*	0.7

*Diferencias en $P < 0.05$

Tabla 10. Variables de rendimiento medidas en un salto con contramovimiento, antes de una competición oficial.

Los datos se presentan en media \pm la desviación estándar para 53 atletas de Brazilian Jiu-jitsu.

N	Novatos = 24	Expertos = 29	% Dif.	P	Tamaño efecto
H (cm)	29.7 \pm 5.0	34.2 \pm 5.1	15.2	0.002*	0.9
Hf (cm)	39.2 \pm 4.5	44.6 \pm 4.8	13.8	0.000*	1.1
PP (W \cdot kg⁻¹)	45.2 \pm 4.9	51.6 \pm 7.6	14.0	0.001*	1.0
V_{pp} (m \cdot s⁻¹)	2.3 \pm 0.2	2.4 \pm 0.2	7.1	0.001*	0.9
F_{pp} (N)	1534.1 \pm 234.3	1575.8 \pm 221.9	2.7	0.512	0.2
AP (W \cdot kg⁻¹)	23.8 \pm 3.5	26.9 \pm 4.9	13.1	0.014*	0.7
Lr (cm)	-13.5 \pm 7.8	-18.1 \pm 8.7	33.3	0.056	0.5
F2 (BW)	5.4 \pm 2.0	4.9 \pm 1.8	-10.0	0.318	0.3

*Diferencias en $P < 0.05$

H = altura del salto medida en el tiempo de vuelo; Hf = posición del centro de gravedad en el punto más alto de la fase del vuelo; PP = pico de potencia; V_{pp} = velocidad en el punto en el que el PP era alcanzado; F_{pp} = fuerza en el instante en el que el PP era alcanzado; AP = Potencia media durante el salto; Lr = trayectoria vertical del centro de gravedad entre los instantes de despegue y aterrizaje; F2 = segundo pico de potencia en el despegue.

4.1.4 Discusión

El principal objetivo de este estudio, fue encontrar algunos de los parámetros relevantes que aproximen a los atletas de BJJ a la excelencia deportiva, específicamente en tres variables: la composición corporal, la potencia y la fuerza isométrica. En la presente investigación, los expertos desarrollaron más fuerza isométrica que los novatos (ej. diferencias significativas en máxima prensión isométrica manual), también desarrollaron más potencia en los miembros inferiores (ej. diferencias significativas en múltiples variables medidas en un CMJ), sin embargo no encontramos diferencias significativas en relación a la composición corporal entre ambos grupos.

En la literatura encontramos dos estudios que analizan la composición corporal de los luchadores de BJJ. Los resultados de nuestro estudio, son inferiores a los encontrados por Del Vecchio et al. (2007) (9.8 ± 4.2 kg) y Vidal Andreato et al. (2012) (10.3 ± 2.6 kg). Este hecho puede ser debido al momento de la temporada deportiva en el que se analizó a los atletas, nosotros lo hicimos justo antes de que realizaran su primer combate en un campeonato internacional, con todo lo que ello conlleva (periodo competitivo, peso ajustado al máximo para su categoría, etc.). Con respecto a las otras dos investigaciones que utilizamos para comparar nuestros datos, en una se realizaron las mediciones en el período preparatorio y en la otra investigación no se registró el momento de la temporada.

Expertos y novatos y fuerza de prensión isométrica

Nuestros resultados sugieren, que los atletas con más años de experiencia, mayor pericia y más horas de entrenamiento semanal en BJJ, desarrollan adaptaciones y mejoras relacionadas con la máxima prensión isométrica manual. Se observaron diferencias significativas entre expertos y novatos en ambas manos ($P < 0.01$). En la bibliografía específica hemos encontrado tres estudios en los que se comparan atletas de BJJ expertos, con otros de un nivel inferior. Borges-Junior, Domenech, y Silva (2009) analizaron la máxima prensión manual en 29 atletas masculinos que practicaban diferentes deportes como aikido, judo, remo, BJJ y otros sujetos activos que no practicaban un deporte específico. En esta investigación se encontraron diferencias entre los atletas de BJJ y los practicantes de aikido, y entre los atletas de BJJ y los sujetos activos.

Oliveira et al. (2006) compararon 21 atletas de BJJ, en el primer grupo los graduados como cinturones marrones y negros, frente al segundo grupo, los graduados como cinturones azules y morados. Estos autores no encontraron diferencias significativas en la máxima prensión manual entre grupos de nivel. Si com-

paramos esta investigación con la nuestra, observamos que mientras que el nivel de los expertos es similar, los novatos de este estudio tienen mejores resultados que los de la presente investigación, este hecho puede ser debido a los años de experiencia en el deporte, ya que los novatos de la investigación a la que estamos haciendo referencia, tienen prácticamente el doble de experiencia que los de la nuestra (5.8 ± 1.5 vs 3.0 ± 1.1 años, respectivamente). Además, aunque los autores no encuentran diferencias significativas, sí encuentran mayores valores en su grupo de expertos (ej. cinturones marrones y negros) comparados con su grupo de novatos. Por último, los autores sí encontraron diferencias significativas entre los atletas de BJJ y otros atletas que no practicaban este deporte en la mano izquierda (ej. 50 sujetos utilizados como grupo de control).

Por otro lado, da Silva et al. (2012) realizaron una investigación con 20 atletas de BJJ. Se encuentran varios paralelismos entre su estudio y la presente investigación. En primer lugar estos autores diferenciaban a los atletas en “élite” y “no élite”. En segundo lugar, el criterio para diferenciar los grupos de nivel fue muy similar al nuestro. Sin embargo, estos autores no midieron la máxima prensión isométrica con un dinamómetro, sino que utilizaron dos test específicos de agarre o prensión. La última similitud, es que en esta investigación sí se encuentran diferencias significativas entre atletas de élite y no élite.

Si analizamos nuestros datos de máxima prensión manual isométrica, en el grupo de novatos (izda.= 43.3 ± 6.6 kgf; dcha.= 43.6 ± 7.1 kgf) y en el de expertos (izda.= 49.1 ± 7.0 kgf; dcha.= 48.6 ± 6.1 kgf) y los comparamos con la bibliografía, los datos obtenidos por nuestros expertos y novatos, son más elevados que los obtenidos por “atletas de élite de BJJ” en Andreato et al. (2011). Si solamente analizamos los datos de nuestros expertos, estarían por encima de los obtenidos por los “atletas adultos de BJJ” en Andreato et al. (2013), muy cercanos a los obtenidos por los “atletas cinturones marrones y negros de BJJ” de Oliveira et al. (2006), y por debajo de los registros obtenidos por los “cinturones negros de BJJ” Franchini et al. (2005a); Franchini, Takito, y Pereira (2003).

Por otro lado, cuando comparamos nuestros datos con deportes similares como el judo, los datos de nuestros expertos y novatos estarían cercanos a la selección brasileña de judo (Franchini, Takito, Kiss, & Sterkowicz, 2005b). Por último, si focalizásemos la atención de nuevo, en los datos de nuestros expertos y los comparáramos con judokas, los resultados son claramente inferiores a los obtenidos por “judokas senior” Little (1991) y por la selección canadiense de judo Thomas et al. (1989).

La mayoría de los autores que han estudiado la prensión manual isométrica en BJJ, han concluido que los atletas de este deporte no tienen elevados registros en esta variable (Andreato et al., 2013; Andreato et al., 2011; Franchini et al., 2003). Estamos de acuerdo en esta afirmación, especialmente si se comparan los datos con judokas de alto nivel. Sin embargo, observando nuestros resultados y las diferencias obtenidas entre grupos de nivel, nosotros pensamos que es muy importante que los atletas de BJJ alcancen unos valores mínimos, necesarios para competir con garantías en competiciones de alta exigencia.

Por otro lado, algunos autores sugieren que el porcentaje de pérdida en la fuerza de prensión manual podría estar directamente relacionado con la máxima fuerza de prensión medida inicialmente (Walker, Siddiqi, & Admusen, 2002; Yamaji, Demura, Nagasawa, & Nakada, 2006). Siguiendo esta misma línea Bonitch-Gongora et al. (2013), realizaron una investigación con judokas de élite y no élite. Estos autores sugieren que los judokas que son capaces de obtener mayores registros en una prueba de máxima prensión manual, también desarrollan mejores estrategias para resistir sucesivas contracciones musculares. Por lo tanto, se podría afirmar que tener un alto registro de máxima fuerza isométrica de prensión manual, puede ser necesario para mejorar la posterior resistencia de fuerza en el agarre. Además, existe un consenso en la literatura específica sobre la importancia concreta de esta habilidad (ej. gripping endurance) (Andreato et al., 2013; Andreato et al., 2011; Franchini et al., 2003; Silva Neto & Dechechi, 2010), debido a que las continuas acciones de agarre realizadas en BJJ, requieren de una gran resistencia para mantener constantes niveles de fuerza durante períodos prolongados en el tiempo.

Expertos, novatos y fuerza explosiva

El rendimiento en salto vertical no ha sido descrito en otros estudios realizados a atletas de BJJ. Sin embargo, observando nuestros resultados, y los de otros deportes de combate, parece que esta variable permite discriminar entre 2 grupos con diferente nivel de entrenamiento en este tipo de deportes (Monteiro et al., 2011; Zaggelidis et al., 2012).

Gracias a los resultados obtenidos en el test CMJ, se observa una mayor fuerza explosiva en el tren inferior en los expertos que en los novatos, que se confirma por las diferencias significativas encontradas en relación a 3 variables de rendimiento en el salto: Altura del salto (H), pico de potencia (PP) y potencia media (AP). Por otro lado, si observamos el momento en el que se alcanza el pico de potencia, se observan diferencias significativas en la velocidad (V_{pp}) que no se aprecian en la

fuerza (F_{pp}). Por tanto las diferencias obtenidas en el grupo de expertos (ej. altura, pico de potencia y potencia media) sugieren que los atletas expertos son capaces de generar más velocidad en la prueba de CMJ, manteniendo los niveles de fuerza.

Somos conscientes de que el BJJ es un deporte en el que las manifestaciones de la fuerza son muy importantes (Andreato et al., 2011; Jones & Ledford, 2012). Además, como hemos visto anteriormente en nuestra investigación, los atletas con más experiencia, tienen una mejor base de fuerza explosiva. Esta afirmación concuerda con varios autores que explican que los momentos decisivos, los que determinan el resultado final de la lucha (pases de guardia, raspados, sumisiones etc.) requieren de fuerza explosiva y potencia (Andreato et al., 2013; Del Vecchio et al., 2007). Por lo tanto, esta manifestación de la fuerza debe ser entrenada específicamente en BJJ, no sólo para mejorar su rendimiento en competición, sino para que los atletas no sufran pérdidas de rendimiento en períodos específicos de la planificación del entrenamiento (Silva Neto & Dechechi, 2010).

Observando las tres variables de rendimiento en la que el grupo de expertos ha obtenido mejoras (H, PP y AP), y comparándolas con otras investigaciones encontradas en la literatura, los datos de nuestra investigación están muy próximos a atletas españoles de una Facultad de Ciencias del Deporte (Lara, Abian, Alegre, & Aguado, 2006), pero están claramente por debajo de los participantes en el campeonato de España de Bádminton (Abian-Vicen, Del Coso, Gonzalez-Millan, Salinero, & Abian, 2012). Si comparamos los datos obtenidos con otros deportes de combate como el judo (debido a la falta de investigaciones en BJJ), nuestros registros están por debajo de “atletas de judo” Monteiro et al. (2011), pero son muy similares a “judokas griegos entrenados” (Zaggelidis et al., 2012).

Para concluir este apartado, los atletas de BJJ, como hemos observado, no tienen valores elevados en el test de CMJ, especialmente si los comparamos con atletas altamente entrenados en fuerza explosiva en los miembros inferiores, como los jugadores de bádminton. Sin embargo, observando las diferencias obtenidas en nuestra investigación entre los grupos de nivel, y considerando que las acciones explosivas son las que deciden el resultado final en una lucha en este deporte, sería muy interesante seguir profundizando sobre esta línea de investigación, incluyendo también la fuerza explosiva de los miembros superiores como una variable a considerar.

Limitaciones del estudio

Debido a que estos atletas realizaron los test descritos en esta investigación aproximadamente una hora antes de la competición, seleccionamos test físicos que

no afectaran al rendimiento posterior de los atletas durante la lucha. Podría ser interesante comparar diferentes grupos de nivel midiendo otras variables como, la resistencia a la fuerza de agarre y la fuerza explosiva de los brazos, así como realizar un test de saltos repetidos, antes de una competición importante (o en períodos de la temporada muy cercanos a la competición).

Aplicaciones prácticas

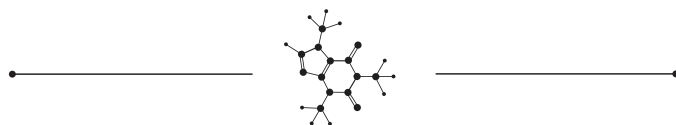
Basándonos en los datos obtenidos en nuestra investigación, y en la literatura consultada, los competidores de BJJ podrían incluir ejercicios para la mejora de las variables medidas en períodos específicos de la temporada: Trabajo específico para la mejora del agarre de forma estática (ej. mantener el agarre colocando la chaqueta de un *gi* o uniforme en una barra elevada y aguantar la posición) y ejercicios para mejorar el agarre de forma dinámica (ej. realizar dominadas con el agarre del traje o *gi*, o series de fuerza resistencia utilizando el aparato de TRX[®] adaptándole las mangas o solapas del traje o *gi*). Además los luchadores de BJJ deberían mejorar la potencia y fuerza explosiva de los miembros inferiores (ej. saltos sobre cajón con una altura de 80 /100 cm. sprints repetidos y drills de potencia).

4.1.5 Conclusiones

Los luchadores de BJJ tienen un bajo porcentaje de grasa, similar al que se tiene en otros deportes de combate como la lucha olímpica y el judo.

Se sugiere que los atletas de BJJ con mayor experiencia, nivel de entrenamiento y pericia (expertos), consiguen adaptaciones y mejoras relacionadas con la máxima prensión isométrica comparándola con otros atletas con menos tiempo de entrenamiento y experiencia (novatos). Estos resultados cobran relevancia por otro lado, ya que algunos autores han establecido una relación directa entre la máxima prensión manual y la resistencia de fuerza en el agarre. La resistencia de fuerza en el agarre (ej. *gripping endurance*) aparece como un factor clave en el rendimiento de los atletas de BJJ en la literatura específica.

Además se sugiere que los atletas expertos tienen más potencia y fuerza explosiva en las piernas que los novatos, debido a que ellos son capaces de generar más potencia y altura en el test de CMJ. De acuerdo con la bibliografía específica consultada las acciones de potencia en BJJ a menudo determinan el resultado final en un combate.



4.2 Estudio 2

Análisis de los aspectos fisiológicos determinantes en una competición internacional de Brazilian Jiu-jitsu

4.2.1 Objetivos

El objetivo del presente estudio ha sido investigar las demandas físicas y fisiológicas de una lucha oficial de BJJ, para determinar cómo una competición puede afectar a la fuerza en los miembros superiores e inferiores de los atletas, y además observar la máxima producción y el aclarado de lactato sanguíneo durante la misma.

4.2.2 Material y métodos

Sujetos

Participaron voluntariamente en el estudio un total de 26 atletas de BJJ (edad: 28.9 ± 4.2 años, altura: 176.1 ± 6.1 cm, peso: 75.4 ± 9.7 kg, grasa corporal: 9.5 ± 2.1 %, masa libre de grasa : 51.2 ± 8.9 %). Los participantes, provenientes de 9 países diferentes, competían en el *European Open Jiu-Jitsu Championship* de 2013 celebrado en Lisboa (Portugal) y organizado por la Federación Internacional de BJJ (IBJJF). Todos los participantes fueron categorizados como expertos, siguiendo el criterio de Díaz-Lara, García, Monteiro, y Abian-Vicen (2014). Los atletas tenían más de 4 años de experiencia (7.4 ± 3.6 años), una graduación desde cinturón morado hasta negro (12 cinturones negros, 6 cinturones marrones y 8 cinturones morados) y entrenaban $\sim 2 \text{ h} \cdot \text{día}^{-1}$, $4 \text{ días} \cdot \text{semana}^{-1}$, durante el año que se realizó la investigación. Toda esta información fue obtenida por medio de un cuestionario. Se informó a todos los participantes sobre la naturaleza y el propósito de la investigación, así como de las mediciones que se les iban a realizar. Después de ello, los participantes firmaron una hoja de consentimiento, que nos permitía realizar las mediciones y usar los datos con fines científicos. El estudio fue aprobado por el comité de ética de la universidad Camilo José Cela según los criterios vigentes de la Declaración de Helsinki.

Diseño de la investigación

El *European Open Championship* (IBJJF) de 2013 se celebró en el Pabellón Casal Vistoso en Lisboa (Portugal). La organización nos facilitó una sala cercana a los tatamis para poder realizar las mediciones oportunas. Los participantes llegaban a la sala 60 min antes de realizar su primera lucha en el campeonato. A su llegada se le realizaron varias mediciones, la estatura (SECA Ltd, Alemania. Con una sensibilidad de ± 0.1 cm), y masa corporal (Radwag, Polonia con una sensibilidad de ± 0.05 kg). Se calculó su composición corporal mediante una bioimpedancia (BC-418. Tanita Corp. Tokyo. Japón), utilizando los estándares establecidos y calculando el porcentaje de grasa y músculo corporal para cada sujeto (Moon et al., 2009). Seguidamente, los atletas realizaron un calentamiento específico de 20 minutos en el que repetían sus rutinas habituales pre-competición. Después, los participantes realizaron un test de máxima prensión isométrica manual con un dinamómetro y finalmente realizaron un test de salto con contramovimiento (CMJ). Una vez que los atletas finalizaban la primera lucha del campeonato, regresaban rápidamente a nuestra sala para que les realizásemos las mediciones post lucha. En los 2 minutos posteriores a la finalización de la lucha, tomábamos una pequeña muestra de sangre del dedo índice para medir la concentración de lactato sanguíneo, inmediatamente después, los atletas realizaban de nuevo el test de máxima prensión manual y el test de CMJ. En esta ocasión, los atletas sólo realizaban un intento en cada uno de los test, porque no queríamos interferir en su recuperación de cara a la siguiente lucha. A los 10 minutos de finalizar su primera lucha, se comprobó el aclarado de lactato sanguíneo, mediante otra pequeña muestra de sangre (Figura 15). Este tiempo de recuperación fue seleccionado porque representa el tiempo de recuperación mínimo oficial establecido por la IBJJF entre dos luchas (International Brazilian Jiu-Jitsu Federation, 2014). Por último, destacar que los atletas se familiarizaron previamente con los instrumentos de medición y los protocolos realizados en esta investigación.

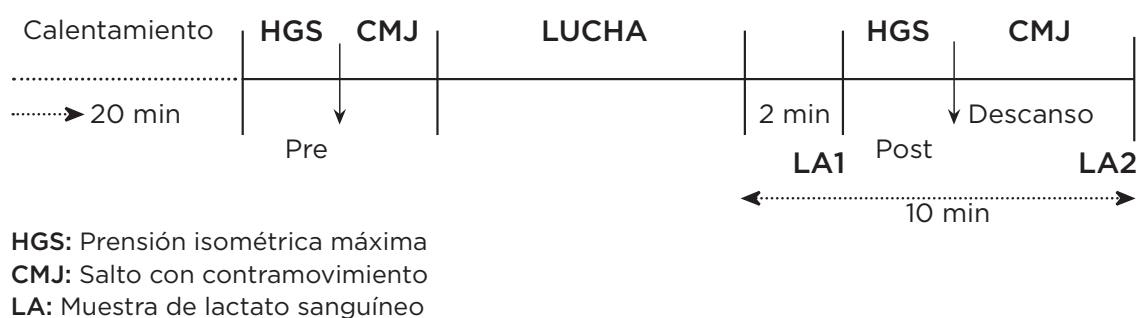


Figura 15. **Diseño experimental. Estudio 2.**

Test de máxima prensión isométrica

En el test de máxima prensión isométrica, los participantes realizaron una máxima prensión en un dinamómetro manual, (Takei scientific instruments co. Ja-pón. Con una precisión de 1 N). Se realizaron dos intentos, con el codo extendido, el brazo paralelo al cuerpo y la muñeca en posición neutra siguiendo los protocolos descritos por varios autores (Espana-Romero et al., 2010; Iglesias et al., 2003; Se-gura-Orti & Martinez-Olmos, 2011) la máxima contracción muscular fue mantenida durante 4 segundos. Hubo un minuto de descanso entre ambos intentos y el mejor registro fue elegido para el posterior análisis.

Test CMJ

Para el test CMJ, los participantes realizaron un salto sobre la plataforma de fuerzas *Quattro jump* (Kistler, Suiza; frecuencia de muestreo de 500 Hz) con las ma-manos en la cintura durante todo el tiempo. El ángulo de flexión de rodillas durante el test CMJ fue elegido libremente por el sujeto (Figura 16). El salto más alto de los tres intentos (1 min. de descanso entre saltos) realizados, se utilizó para el análisis estadístico. Se rea-lizaron las siguientes mediciones: Potencia media durante la fase de impulso, altura del salto medida a partir del tiempo de vuelo, ve-locidad del centro de gravedad y fuerza en el instante en el que se alcanzó el pico de potencia, tra-yectoria vertical del centro de gra-vedad entre el primer instante del aterrizaje, y la posición más baja del centro de gravedad durante la amortiguación y el segundo pico de fuerza generado durante la amortiguación.



Figura 16. **Atleta realizando el test CMJ inmediatamente después de su 1ª lucha.**

Mediciones de lactato sanguíneo

Para cada medición de lactato en sangre, se tomó una muestra de 0,2 μ l de la yema del dedo índice a los 2 y 10 min después de la primera lucha de la competición. Para obtener datos sobre la producción máxima de lactato en sangre, tomamos como referencia el segundo minuto después del final del combate, debido a que el pico de producción de lactato por lo general ocurre entre el primer y segundo minuto después de finalizar un combate (Bonitch-Dominguez, 2006). Los datos sobre el aclaramiento de lactato en sangre se calcularon con la diferencia entre la primera (2 min post lucha) y la segunda medición (10 min post lucha), dividido por el tiempo transcurrido entre ambas mediciones (ej. 8 min). La concentración de lactato en sangre se determinó utilizando un analizador de lactato en sangre portátil (Lactate Scout, Alemania) con un biosensor enzimático amperométrico como elemento de medida (Figura 17 y 18).



Figura 17. Medición de lactato sanguíneo pre lucha



Figura 18. Medición de lactato sanguíneo post 1ª lucha

Variables

Las variables dependientes del estudio fueron, en la prueba de máxima prensión isométrica, la máxima producción de fuerza generada por la mano dominante y la no dominante (kgf). En el test CMJ, se analizaron las siguientes medidas: Altura del salto calculada a partir del tiempo de vuelo (H) medida en cm; Posición del centro de gravedad en el punto más alto en la fase de vuelo (Hf) medido en cm; Velocidad en el pico de potencia (V_{pp}) medido en $m \cdot s^{-1}$; Fuerza en el pico de potencia (F_{pp}) medida en N; Potencia media (AP) medida en $W \cdot kg^{-1}$; Trayectoria vertical del centro de gravedad en la amortiguación (Lr) medida en cm; y el segundo pico de

fuerza generado durante la amortiguación (F2) medido en relación al peso corporal (BW). Las variables dependientes analizadas en las muestras de lactato fueron: Máxima producción de lactato en sangre después de la primera lucha, medida en $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ y el ratio de aclarado de lactato, medido en $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. El momento de realización de los test, y el instante previo e inmediatamente después de la primera lucha en competición, fueron establecidos como variable independiente.

Análisis estadístico

Se utilizó el programa SPSS v. 19.0 (SPSS Inc., EE.UU.) para realizar las pruebas estadísticas descriptivas e inferenciales. Inicialmente, la normalidad de la muestra se analizó en todas las variables con la prueba de Shapiro-Wilk. Después de eso, se utilizó la prueba t de Student para muestras dependientes para establecer las diferencias entre las mediciones realizadas antes y después de la lucha en las variables que mostraron una distribución normal. Las diferencias en las variables que presentaron una distribución no paramétrica se establecieron con la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon. El criterio de significación estadística se estableció en $P < 0.05$. El tamaño del efecto se calculó en todas las comparaciones por pares de acuerdo con la fórmula propuesta por Glass, McGaw, y Smith (1981). La magnitud del tamaño del efecto fue interpretado utilizando la escala Cohen (1988), un tamaño del efecto menor que 0.2 se consideró como pequeño, un tamaño del efecto de 0.5 se consideró como medio y un tamaño del efecto mayor de 0.8 se consideró como grande. Todos los datos se presentan como media \pm desviación estándar.

4.2.3 Resultados

La máxima fuerza isométrica de prensión se redujo significativamente después de la lucha desde 49.65 hasta 44.85 kgf ($P < 0.01$). Los resultados de la prueba de fuerza de prensión manual medidos antes y justo después de la lucha se muestran en la Tabla 11. La lucha de BJJ causó una reducción significativa ($P < 0.05$) en la producción de la fuerza de prensión tanto en la mano dominante como en la no dominante. Los resultados obtenidos en las variables analizadas durante la prueba CMJ se muestran en la Tabla 12. De nuevo, la lucha de BJJ produjo reducciones significativas en la altura del salto, la velocidad en el pico de potencia y la potencia media durante la fase de despegue ($P < 0.05$). Hubo una tendencia, de un mayor valor en F2 cuando se compararon las mediciones antes y después del combate. La máxima concentración de lactato en sangre después del combate fue de $14.8 \pm 3.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. La concentración de lactato en sangre disminuyó significativamente hasta $11.2 \pm 2.9 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ en la medición realizada 10 min después

del combate ($P < 0.05$). Este cambio en la concentración de lactato representó un aclaramiento de lactato en sangre de $0.45 \pm 0.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

Tabla 11. Máxima fuerza isométrica de prensión antes e inmediatamente después de una competición oficial.

Los datos se expresan en media \pm SD para 26 atletas expertos de Brazilian Jiu-jitsu.

Variables	Pre-lucha	Post-lucha	% Dif.	P	Tamaño efecto
No dominante (kgf)	48.5 \pm 5.6	43.7 \pm 6.5	-9.2 \pm 7.1	<0.001*	0.7
Dominante(kgf)	50.8 \pm 5.2	46.0 \pm 6.1	-9.7 \pm 9.9	<0.001*	0.8

*Diferencias en $P < 0.05$

Tabla 12. Variables de rendimiento medidas en un salto con contramovimiento, antes e inmediatamente después de una competición oficial.

Los datos se expresan en media \pm SD para 26 atletas expertos de Brazilian Jiu-jitsu.

Variables	Pre-lucha	Post-lucha	% Dif.	P	Tamaño efecto
H (cm)	34.0 \pm 5.2	30.8 \pm 6.7	-9.8 \pm 12.4	<0.001*	0.6
AP ($\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$)	26.2 \pm 5.0	24.6 \pm 4.9	-5.8 \pm 12.5	0.023*	0.3
V _{pp} ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	2.4 \pm 0.2	2.3 \pm 0.2	-4.6 \pm 6.4	<0.001*	0.6
F _{pp} (N)	1546.5 \pm 231.2	1579.2 \pm 246.9	2.3 \pm 6.6	0.122	0.1
Lr (cm)	-16.5 \pm 8.5	-15.8 \pm 8.8	-1.9 \pm 33.0	0.501	0.6
F2 (BW)	5.4 \pm 2.2	4.6 \pm 1.9	-8.4 \pm 35.7	0.064	0.3

*Diferencias en $P < 0.05$

H = altura del salto medida en el tiempo de vuelo; PP = pico de potencia; V_{pp} = velocidad en el punto en el que el PP era alcanzado; F_{pp} = fuerza en el instante en el que el PP era alcanzado; AP = Potencia media durante el salto; Lr = trayectoria vertical del centro de gravedad entre los instantes de despegue y aterrizaje; F2 = segundo pico de potencia en el despegue.

4.2.4 Discusión

En la presente investigación los atletas de BJJ que compitieron en 2013 *European Open Jiu-Jitsu Championship* (IBJJF) obtuvieron valores de fuerza isométrica de prensión de 50.8 ± 5.2 kgf en la mano dominante y de 48.5 ± 5.6 kgf en la mano no dominante (Tabla 11). Estos valores son superiores a los obtenidos en “atletas de élite de BJJ” en Andreato et al. (2011), son muy cercanos a los obtenidos por “cinturones marrones y negros de BJJ” en Oliveira et al. (2006). Sin embargo, nuestros registros son ligeramente inferiores a los encontrados en “cinturones negros de BJJ” Franchini et al. (2005a); Franchini et al. (2003).

Si comparamos los valores obtenidos en la presente investigación con otros deportes de combate de similares características como el judo, nuestros resultados son inferiores a “judokas seniors” y a la selección canadiense de judo (Little, 1991; Thomas et al., 1989). Algunos investigadores que han estudiado la fuerza de agarre isométrica en los atletas de BJJ han concluido que los participantes en este deporte no tienen unos altos registros en esta variable, sobre todo si los datos se comparan con judokas de alto nivel. Dichos autores explican, que la capacidad de resistir la fuerza ejercida en el agarre podría ser más importante y específica para el BJJ (Andreato et al., 2011; Franchini et al., 2003). Sin embargo, Bonitch-Gongora et al. (2013), sugieren que los judokas de élite, que son capaces de desarrollar mayores niveles de fuerza de prensión manual isométrica, también tienen mejores estrategias para resistir sucesivas contracciones. Además, en un estudio reciente, los resultados de máxima prensión isométrica han sido una herramienta útil para discriminar entre atletas con diferente nivel de experiencia en BJJ (Díaz-Lara et al., 2014). Toda esta información sugiere que alcanzar un valor mínimo de fuerza de prensión manual podría ser necesario para competir con un nivel óptimo en BJJ.

Investigaciones previas han encontrado que la fuerza isométrica de prensión se reduce entre el 11 y el 16% durante un combate de BJJ (Andreato et al., 2013; Franchini et al., 2003). La disminución de la fuerza de prensión es similar a la publicada en judocas, con reducciones que oscilan entre el 10 y el 15% (Bonitch-Gongora, Bonitch-Dominguez, Padial, & Feriche, 2012). La presente investigación es novedosa, ya que presenta la magnitud de la pérdida de fuerza isométrica de prensión durante un combate internacional en luchadores expertos de BJJ. La pérdida de fuerza fue ligeramente inferior a la reportada previamente en luchadores de BJJ, aunque sí confirma la fatigabilidad en los músculos de agarre de los antebrazos en los luchadores del presente estudio (Tabla 11). Esta fatiga en los antebrazos, se debe a que las acciones de agarre continuado que se producen en un combate de BJJ, requieren de alta resistencia para mantener niveles constantes de

fuerza durante un periodo prolongado (Andreato et al., 2012b). Podría ser interesante para futuras investigaciones, medir la fuerza isométrica de prensión durante sucesivos combates, para observar si la fuerza continua disminuyendo.

En los deportes de combate, los valores de la altura del salto en luchadores de élite oscilan entre 30 y 40 cm, aunque existen algunas diferencias entre las disciplinas deportivas (Bosco, 1994). Específicamente para los atletas BJJ, la altura del salto antes de la lucha, encontrada en la presente investigación, fue muy similar a los valores encontrados en luchadores expertos de BJJ (Díaz-Lara et al., 2014). La altura del salto en CMJ registrada es también similar a “judokas griegos entrenados” Zagge- lidis et al. (2012). Las acciones de alta intensidad realizadas en BJJ son predominantemente cortas (menos de 3 s), ya que los momentos decisivos de la lucha (puntos, sumisiones, etc.) requieren de fuerza explosiva y potencia (Andreato et al., 2013; Del Vecchio et al., 2007). Por lo tanto, el uso del test CMJ podría ser una buena manera de registrar la potencia muscular de los miembros inferiores en BJJ y también una herramienta útil para evaluar la eficacia de las rutinas del entrenamiento de potencia.

Comparando los datos previos y posteriores a la lucha en nuestra investigación, encontramos disminuciones significativas en el test CMJ medido después del primer combate, en la mayoría de las variables analizadas (Tabla 12). Estos datos indican que una lucha de BJJ produce fatiga muscular cuantificable en los miembros inferiores. Existe poca investigación sobre el efecto agudo que provoca una lucha en el rendimiento posterior de un salto en deportes de combate; Iglesias et al. (2003) no encontraron diferencias significativas en 8 judokas que realizaron un CMJ antes y después de un combate. Estos autores, argumentaron que las acciones explosivas que se realizan durante el combate, se suceden de manera intermitente y con tiempo suficiente para la recuperación. Concluyen, que un combate de judo no provoca fatiga en los miembros inferiores. Del mismo modo, Bonitch-Dominguez et al. (2010), encontraron que combates de judo sucesivos (cuatro combates de 5 min) no tuvieron ningún efecto sobre la potencia máxima desarrollada durante un salto. Sin embargo, Kraemer et al. (2001) en una investigación llevada a cabo con luchadores olímpicos, observaron una disminución significativa en el rendimiento en el salto, no obstante, este efecto perjudicial sólo se encontró después de 3 luchas (no al finalizar las dos primeras luchas).

Una explicación para la fatiga muscular de los miembros inferiores encontrada después de una sola lucha de BJJ, cuando este efecto no se ha producido en otros deportes de combate, podría deberse a las diferencias en el ratio esfuerzo/descanso. El judo y lucha grecorromana tienen un ratio de esfuerzo/descanso aproxi-

madamente de 2: 1, 3: 1 (Franchini et al., 2013; Nilsson et al., 2002), mientras que el BJJ tiene una mayor proporción en el ratio esfuerzo/descanso, aproximadamente de 10: 1 (Del Vecchio et al., 2007). Esto significa que en BJJ, las secuencias más largas de esfuerzo producidas presumiblemente durante la lucha, junto con unos períodos de recuperación más cortos, podrían suponer un tiempo insuficiente para la restauración de los sustratos energéticos que esta manifestación de la fuerza requiere. Sin embargo, sería muy interesante investigar más a fondo las causas de la fatiga muscular de los miembros inferiores observada después de un combate oficial de BJJ.

Algunas investigaciones previas, han medido la concentración de lactato sanguíneo en atletas de BJJ, sobre todo después de luchas simuladas (Andreato et al., 2013; Andreato et al., 2012b; da Silva et al., 2013; Franchini et al., 2005a). Estos estudios han encontrado concentraciones de lactato sanguíneo entre 9 y 12 mmol·L⁻¹ indicando una activación moderada de la vía glucolítica durante un combate de BJJ. Sólo una de estas investigaciones, registró valores de lactato sanguíneo después de una lucha oficial, aunque de nivel regional (10.1 ± 8.0 mmol·L⁻¹; (Andreato et al., 2013)). Por otro lado, Pereira et al. (2011) encontraron un valor más alto en combates simulados de BJJ (14.2 ± 5.9 mmol·L⁻¹). Nuestros resultados confirman la alta dependencia de la vía glucolítica durante un combate oficial de BJJ, con datos de lactato sanguíneo, incluso similares a los valores obtenidos en judo (Bonitch-Gongora et al., 2012). Nuestros datos, también ofrecen la novedad de indicar los valores más altos obtenidos en concentración de lactato sanguíneo en BJJ (14.8 ± 3.2 mmol·L⁻¹), tanto en competición oficial como simulada. El mayor nivel de los oponentes existente en una competición internacional, frente a los compañeros de entrenamiento que se utilizan en competiciones simuladas, podría ser un factor clave para que aumente el lactato sanguíneo en una competición real. Además, el entorno competitivo puede aumentar la tensión impuesta a los atletas en diferentes deportes, debido a las exigencias psicológicas y físicas adicionales que provoca (Haneishi et al., 2007; Passelergue et al., 1995). Moreira et al. (2012) encontraron que una competición real de BJJ incrementó la concentración de las hormonas relacionadas con el estrés (cortisol e inmunoglobulina), en comparación con combates simulados o sesiones de entrenamiento. Toda esta información indica que los entrenadores deben tratar de simular el nivel de los rivales y la tensión competitiva en los entrenamientos, a través de estrategias motivacionales para tratar de obtener situaciones que reproduzcan las exigencias físicas y fisiológicas reales de una competición oficial en BJJ.

Sólo tres investigaciones han analizado el aclaramiento de lactato en sangre después de una lucha de BJJ. Estas investigaciones obtuvieron valores de aclara-

miento de lactato, entre 0.27 y 0.41 mmol·L⁻¹·min⁻¹ durante un periodo de recuperación de 15 minutos después del combate (Andreato et al., 2012b; Pereira et al., 2011). En nuestro estudio, encontramos valores ligeramente más altos de aclaramiento de lactato en sangre (0.45 ± 0.2 mmol·L⁻¹·min⁻¹), sin embargo, nuestros valores son más bajos que los encontrados en judocas de élite (desde 0.55 hasta 0.98 mmol·L⁻¹·min⁻¹ con 10 y 15 min de recuperación) (Bonitch-Dominguez, 2006; Ebine et al., 1991; García, 2004). En la presente investigación, en lugar de establecer un período de 15 min de recuperación, hemos medido el aclarado de lactato en sangre durante un período de descanso de 10 minutos, debido a que estábamos en una competición real y los atletas tuvieron que luchar su segundo combate tras un período de descanso establecido de 10 minutos, de acuerdo a las normas de la competición (International Brazilian Jiu-Jitsu Federation, 2014). Según Sahlin (1992), la media de tiempo desde que los valores máximos de lactato sanguíneo retornan a los valores basales, oscilan entre 30 y 60 minutos. Por esta razón, iniciar el siguiente combate con el mejor estado de recuperación posible puede ser un factor clave para el éxito en BJJ. Por lo tanto, la medición del ratio de aclarado de lactato en sangre, podría ser un excelente indicador para descubrir cómo recuperan los atletas durante el transcurso de una competición.

Limitaciones del estudio

Los test que utilizamos en la investigación eran de aplicación sencilla y rápida. El objetivo era obtener la máxima información posible, sin interferir en el rendimiento de los atletas en la competición. Por otro lado, sería muy interesante el análisis de los combates realizados por cada uno de los atletas, para relacionar la fatiga obtenida con la intensidad de las acciones ejecutadas.

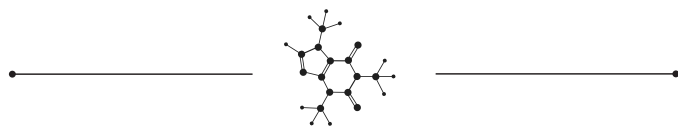
Aplicaciones prácticas

Los datos derivados de este ecológico estudio, podrían ser interesantes para entrenadores y atletas. Primero, debido a la alta intensidad producida durante una lucha oficial de BJJ, es esencial que los atletas desarrollen adaptaciones fisiológicas para taponar la acidosis, especialmente durante el tiempo de recuperación de los combates. Por esta razón, es crucial que los entrenadores simulen la intensidad, el alto nivel de activación y el estrés competitivo durante los entrenamientos. Las sesiones de entrenamiento de combates (*sparring*) que repliquen la duración, intensidad, nivel de los oponentes y ratios de esfuerzo descanso producidos en una competición real, parecen ser la mejor opción para preparar a un luchador frente a una competición de alto nivel. Además, se recomienda realizar registros individualizados de máxima producción y aclarado de lactato para analizar la intensidad de trabajo

de cada uno de los atletas. Por otro lado, para contrarrestar la fatiga en el agarre en BJJ, no es suficiente trabajar la máxima fuerza isométrica, sino que es necesario entrenar la capacidad de los músculos responsables en el agarre sobre el gi, para realizar contracciones máximas o submáximas durante un periodo prolongado. Por último, el entrenamiento pliométrico, es a menudo integrado y combinado para mejorar la resistencia a la potencia en los miembros inferiores, con entrenamiento de resistencia, y con sesiones de acondicionamiento o rutinas específicas en BJJ (Ratamess, 2011).

4.2.5 Conclusiones

La presente investigación indica que el uso de la vía glucolítica durante un combate oficial es más alto que el que previamente se ha venido sugiriendo. El ratio de aclarado de lactato es esencial para el rendimiento en BJJ porque el tiempo de recuperación entre las luchas es insuficiente para que los valores de lactato sanguíneo retornen a los niveles basales previos a la lucha. Además, se ha observado que una lucha de BJJ causa fatiga muscular tanto en los miembros superiores como en los inferiores. Por tanto, se deberían implementar las estrategias para reducir esta fatiga muscular y de esta forma, incrementar el rendimiento en este deporte de combate.



4.3 Estudio 3

La cafeína mejora el rendimiento muscular en atletas de élite de Brazilian Jiu-jitsu

4.3.1 Objetivos

El objetivo principal de esta investigación fue determinar la efectividad de la cafeína (3 mg de cafeína por kg de masa) para mejorar el rendimiento muscular de los atletas de Brazilian Jiu-jitsu. Se parte de la hipótesis de que 3 mg · kg⁻¹ de cafeína, pueden incrementar la producción de fuerza, potencia y resistencia muscular durante test que analicen de manera específica estas capacidades en atletas de élite de BJJ.

4.3.2 Material y métodos

Sujetos

Catorce atletas de élite en BJJ (edad: 29.2 ± 3.3 años, altura: 173.8 ± 6.2 cm, masa corporal: 71.3 ± 9.1 kg, grasa corporal: 8.5 ± 1.5% y masa muscular: 50.6 ± 3.3%) se ofrecieron a participar voluntariamente en esta investigación. Todos los participantes fueron clasificados como élite, ya que habían ganado algún campeonato nacional en España en sus respectivos peso-categorías o habían clasificado entre los 3 primeros puestos en un campeonato internacional organizado por la Federación Internacional de BJJ (IBJJF), durante el año de realización del estudio. Todos los participantes tenían experiencia en BJJ previa de un mínimo de 5 años y habían entrenado durante ~ 2 h · día⁻¹, 6 días · semana⁻¹ durante el año en el que se realizó la investigación. Los participantes no eran fumadores y eran considerados como consumidores ocasionales de cafeína (<60 mg por día, ~1 taza de café al día máximo). Los participantes fueron plenamente informados sobre los riesgos y las molestias asociadas a los experimentos antes de dar su consentimiento informado por escrito para participar. El estudio fue aprobado por la Junta de Revisión de la Universidad Camilo José Cela, de acuerdo con la última versión de la Declaración de Helsinki.

Diseño experimental

En el presente estudio se utilizó un diseño experimental a doble ciego aleatorizado y controlado. Cada atleta tomó parte en dos ensayos experimentales en el mismo momento del día y bajo condiciones controladas de laboratorio ($21 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ de temperatura ambiental; $30 \pm 5\%$ de humedad relativa). Los ensayos experimentales fueron separados una semana, para permitir una completa recuperación y lavado de la cafeína.

En cada ensayo experimental, los atletas ingirieron una cápsula con una dosis individualizada de 3 mg de cafeína por kg de masa corporal (99% puro, Bulkpowders, UK) o una cápsula idéntica con celulosa (0 mg de cafeína $\cdot \text{kg}^{-1}$ de masa corporal; placebo). El orden de los ensayos experimentales fue aleatorio y contrabalanceado, y fue llevado a cabo por un investigador diferente de los que realizaron los test de rendimiento. Un código alfanumérico fue asignado en cada ensayo para cegar a los participantes y a los investigadores y que de esta forma no supieran la sustancia que ingerían los participantes en cada ensayo experimental. Este código se dio a conocer después del análisis estadístico de las variables.

Protocolo experimental

El día antes de la primera prueba experimental, se pesó a los participantes desnudos (Radwag, Polonia) para individualizar las dosis de cafeína. En este día, las características antropométricas se midieron por un antropometrista certificado ISAK. Los participantes se abstuvieron de realizar ejercicio vigoroso y adoptaron un régimen de dieta e ingesta de líquidos similares, replicando sus rutinas pre-competición. Se alentó a los participantes a que no consumieran ninguna fuente dietética de cafeína (café, refrescos de cola, chocolate, etc.) y alcohol durante 48 horas antes de la prueba. El día de los ensayos experimentales, los participantes realizaron la comida previa a la competición (3 horas antes del inicio de la prueba) y 500 ml de agua (2 horas antes del inicio de la prueba). Todas estas estandarizaciones se verificaron mediante cuestionarios de dieta y ejercicio que nos devolvieron los atletas y se replicaron desde la primera a la segunda prueba experimental.

Los ensayos experimentales se llevaron a cabo en las instalaciones destinadas a los deportes de lucha y combate del Centro de Alto Rendimiento Deportivo de Madrid (CARD) perteneciente al Consejo Superior de Deportes. Los participantes llegaron 75 minutos antes del comienzo de la prueba experimental y tomaron la cápsula que se le había asignado para el ensayo, con 250 ml de agua (Figura 19).



Figura 19. **Asignación de cápsulas de cafeína y placebo.**

Seguidamente, los participantes se vistieron con ropa deportiva, en concreto con una camiseta y el pantalón del *gi* o traje con el que habitualmente compiten y realizaron un calentamiento estandarizado, que incluyó 15 minutos de carrera, actividades de baja intensidad, que implicaban los principales grupos musculares que iban a ser testados y otros 10 min de extensiones de brazos en press de banca con cargas submáximas. Después de esto, los atletas realizaron 5 test diferentes con 10 minutos de descanso entre test (ej. desde el primero al cuarto) y 45 minutos de descanso antes de la última prueba, ya que se necesitaba una recuperación completa.

Las pruebas se realizaron de la siguiente forma:

Test de carga incremental y determinación de 1RM: Los participantes realizaron una prueba incremental en el ejercicio de press de banca con el aumento progresivo y gradual de las cargas hasta que alcanzaron su 1RM, de acuerdo con los métodos descritos por Brown y Weir (2001). Con cada carga, los participantes tuvieron que realizar una extensión concéntrica del brazo, a la máxima velocidad posible en el ejercicio de press de banca. La carga inicial se fijó en 20 kg para todos los sujetos y se aumentó progresivamente con incrementos de 10 kg hasta que la velocidad de propulsión media durante la fase concéntrica de la contracción muscular fue inferior

a $0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. A partir de ese instante, la carga se ajustó con incrementos más pequeños (5-2.5 kg) hasta que los participantes alcanzaban su 1RM. El 1RM se consideró alcanzado, cuando la velocidad de propulsión media fue inferior a $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Durante cada repetición, se registraron la velocidad (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), la aceleración (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) y la potencia muscular (en W) con una frecuencia de 1.000 Hz mediante la utilización

de un encoder rotatorio (Isocontrol 5.0, España) colocado en el final de la barra. Después de esta prueba, cada carga fue relativizada por los valores de 1RM individualizados y agrupados por grupos como % de 1RM. El mismo investigador, que desconocía la sustancia que habían tomado cada uno de los participantes, estandarizó los estímulos y el feedback que les reportó a los mismos (Figura 20).



Figura 20. Test de carga incremental en press de banca.

Máxima fuerza isométrica de prensión: Seguidamente, se realizó este test en ambas manos y se midió a través de un dinamómetro (Grip-D, Takei, Japón) con una precisión de 1 N. Cada intento se hizo con el brazo extendido y paralelo al cuerpo y con la muñeca en posición neutra (España-Romero et al., 2010), se realizó una con-



Figura 21. **Máxima fuerza isométrica de prensión manual.**

precisión de 1 N y con 1 min de recuperación entre repeticiones. El ángulo de flexión de la rodilla durante el CMJ fue elegido libremente por cada participante (Figura 22). Se midieron, la altura del salto calculada a partir del tiempo de vuelo (en cm), la velocidad del centro de gravedad (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) y la fuerza (en N) en la que se alcanzaba el pico de potencia. Se tomó para el análisis posterior el mejor de los tres ensayos realizados tomando como referencia la altura del salto.

Tiempo de permanencia de agarre (MSL): Mediante este test se le realiza a los participantes una prueba de resistencia de agarre específica y fiable en BJJ, que ha sido utilizada por otros autores para discriminar entre diferentes niveles de rendimiento en atletas de BJJ (da Silva et al., 2012). Utilizamos el protocolo utilizado por da Silva et al. (2012): los participantes realizaron dos series de ejercicios de agarre mantenido sobre las solapas de una chaqueta, que se encontraba enrollada alrededor de una barra elevada (2.5 m desde el suelo). Introdujimos una variante con respecto a la prueba original, ya que la articulación del codo se mantuvo a 90° en lugar de la máxima flexión de codos. Nosotros controlamos esa flexión con un goniómetro antes de comenzar el test. Con esta variante se buscaba más especificidad en la acción del agarre. Los atletas intentaban mantener esta posición durante el máximo tiempo posible, se utilizó el intento en el que realizaron más tiempo. La prueba terminaba

tracción muscular mantenida durante 4 s (Figura 21). Los atletas realizaron 2 intentos con cada mano con 1 minuto de descanso entre repeticiones. Se utilizó el valor máximo obtenido en ambas manos para el análisis estadístico.

Salto con contramovimiento (CMJ):

Los participantes realizaron dos saltos verticales máximos, con las manos en la cintura en todo momento para eliminar la influencia de la parte superior del cuerpo sobre las variables analizadas en el salto. Los saltos se realizaron en una plataforma de fuerzas (Kistler, Suiza) con una frecuencia de muestreo de 500 Hz, una pre-



Figura 22. Salto con contramovimiento.

cuando los participantes fueron incapaces de mantener el codo a 90°. Se estableció un tiempo de descanso de 5 minutos entre las dos series (Figura 23).

Press de banca hasta la fatiga (BPE): Después de 45 min de recuperación, los participantes realizaron una prueba de resistencia de fuerza que consistió en realizar el número máximo de repeticiones en el ejercicio de press de banca hasta la fatiga, con la carga en la que los participantes habían obtenido su máxima producción de potencia en el test incremental utilizado para el cálculo del 1RM (ej. $45.1 \pm 12.9\%$ de 1 RM). Con una orden verbal, los participantes realizaban una extensión de los miembros superiores concéntrica a la máxima velocidad posible, el arqueado de la espalda no estaba permitido. Después, el participante realizaba el movimiento excéntrico de la barra hacia abajo con una velocidad controlada, y una señal acústica indicaba el inicio de la siguiente repetición, un segundo después del final del movimiento excéntrico. La prueba continuó hasta el fallo, y la velocidad (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), la aceleración (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) y la potencia muscular (en W) se registraron por el mismo encoder rotatorio utilizado para el test incremental. Para el análisis, se utilizó el número total de repeticiones hasta la fatiga y las 15 primeras repeticiones, que era el número mínimo que realizaron todos los participantes (Figura 24).



Figura 23. Test de permanencia de agarre específico.



Figura 24. Press de banca hasta la fatiga con el peso de máxima potencia.

Evaluación de los efectos secundarios: Después de la finalización de los test de rendimiento, se exigió a los participantes que completaran un cuestionario sobre sus sensaciones con respecto a la fuerza muscular, la resistencia y el esfuerzo percibido durante las pruebas. Este cuestionario incluía una escala de 1 a 10 puntos para evaluar cada ítem, los participantes fueron informados previamente que 1 punto significa una mínima cantidad de ese ítem y 10 puntos significó una cantidad máxima del ítem (Del Coso et al., 2012a). Además, a los participantes se les proporcionó una encuesta para que la rellenaran al día siguiente por la mañana, en la que valoraban la calidad del sueño, nerviosismo, problemas gastrointestinales y otros malestares. Esta encuesta incluía 7 ítems en una escala de sí / no, y se ha utilizado previamente para evaluar los efectos secundarios derivados de las cápsulas de cafeína (Del Coso et al., 2012a).

Análisis estadístico

Los datos de cada prueba se introdujeron por un investigador “ciego” en el paquete estadístico SPSS v 19.0 para su posterior análisis. La normalidad de cada variable fue analizada previamente con la prueba de Shapiro-Wilk. Todas las variables incluidas en esta investigación presentaron una distribución normal ($P > 0.05$). Para establecer diferencias entre el ensayo con cafeína y el de placebo, se utilizó la prueba t de Student para muestras dependientes de las variables que solo necesitaban una medición en cada ensayo (ej. prensión manual, CMJ, test MSL, 1RM, etc.). Para las variables en la que se realizaban varias mediciones en la misma prueba (ej. Test incremental, press banca hasta la fatiga, etc.), se establecieron las diferencias entre los dos ensayos con un análisis de la varianza (ANOVA) de medidas repetidas de dos factores (tratamiento \times repetición). La prueba de McNemar se utilizó para detectar diferencias en la prevalencia de efectos secundarios después de la ingesta de cafeína y las cápsulas de placebo. El tamaño del efecto se calculó en todas las comparaciones por pares de acuerdo con la fórmula propuesta por Glass et al. (1981). La magnitud del tamaño del efecto fue interpretado utilizando la escala de Cohen (1988) un tamaño del efecto menor que 0.2 se consideró pequeño, un tamaño del efecto de 0.5 se consideró medio y un tamaño del efecto mayor de 0.8 fue considerado como grande. El nivel de significación se fijó en $P < 0.05$. Los datos se presentan como media \pm desviación estándar.

4.3.3 Resultados

En comparación con el placebo, la ingestión previa al ejercicio de la cafeína mejoró la producción de fuerza máxima durante la prueba de prensión manual en la mano dominante un $4.4 \pm 6.3\%$ ($P = 0.03$, 95% CI: 0.3 a 4.5 kg, $d = 0.8$) y en la mano no dominante un $4.9 \pm 7.3\%$ ($P = 0.02$, 95% CI: 0.4 a 4.0 kg, $d = 0.4$; Tabla 13).

En el CMJ, la cafeína aumentó la altura del salto un $3.7 \pm 3.7 \%$, ($P = 0.02$, 95% CI: 0.1 a 2.1 cm, $d = 0.2$) y la velocidad en el pico de potencia un $1.3 \pm 2.2\%$, ($P = 0.03$, 95% IC: 0.01 a 0.06 m · s⁻¹, $d = 0.2$), aunque no hubo diferencias en los valores de fuerza en el pico de potencia ($P = 0.20$, 95% CI: -42.8 a 12.7 N, $d = 0.1$; Tabla 13). La ingestión de cafeína aumentó el tiempo registrado en la prueba MSL un $10.4 \pm 7.3\%$ ($P < 0.01$, 95% CI: 2.8 a 10.9 s, $d = 0.5$).

Tabla 13. Máxima fuerza isométrica de prensión, permanencia en el test de agarre específico y variables de rendimiento en un salto con contramovimiento, con la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de peso corporal) o placebo (0 mg de cafeína).

Los datos se muestran con la media \pm desviación estándar para 14 atletas de Brazilian Jiu-jitsu.

	Placebo	Cafeína	Δ (%)	Valor P	Tamaño efecto
Fuerza prensión dominante (kgf)	53.5 \pm 3.2	55.9 \pm 5.1	4.4 \pm 6.3	0.03*	0.8
Fuerza prensión no dominante (kgf)	48.4 \pm 5.2	50.7 \pm 4.9	4.9 \pm 7.3	0.02*	0.4
Tiempo de permanencia de agarre (s)	54.4 \pm 13.4	59.2 \pm 11.9	10.4 \pm 13.7	<0.01*	0.5
Altura del salto en CMJ (cm)	40.6 \pm 2.6	41.7 \pm 3.1	3.7 \pm 3.7	0.02*	0.2
Velocidad en el pico de potencia CMJ (m · s⁻¹)	2.6 \pm 0.1	2.6 \pm 0.1	1.3 \pm 2.2	0.03*	0.2
Fuerza en el pico de potencia CMJ (N)	1436.4 \pm 162.7	1421.4 \pm 157.3	-0.9 \pm 3.9	0.20	0.1

* = diferencia entre cafeína y placebo ($P < 0.05$)

1 RM y test de carga incremental

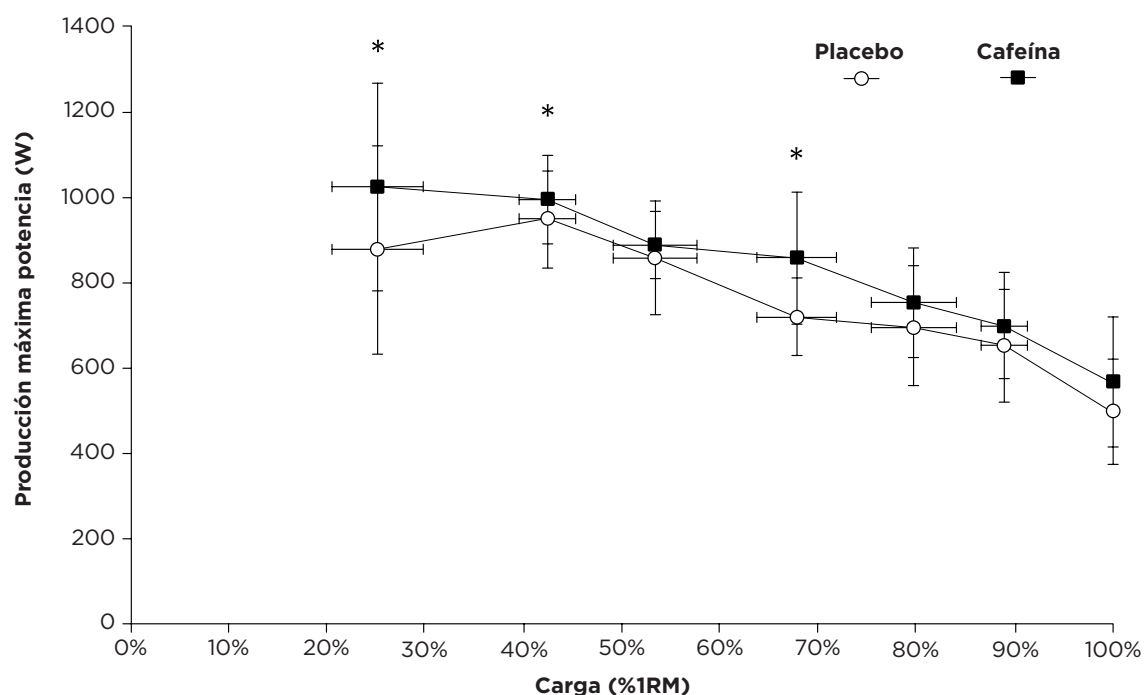
En comparación con el placebo, la ingestión de cafeína aumentó el 1RM en el press de banca (90.5 ± 7.7 vs. 93.3 ± 7.5 kg; $P = 0.02$, 95% CI: 0.5 to 8.7 kg, $d = 0.4$; Tabla 14). La ingestión de cafeína también incrementó la producción máxima de potencia $10.5 \pm 6 \%$ ($P < 0.01$, 95% CI: 33.9 a 119.0 W, $d = 0.5$), la potencia media un $7.2 \pm 5 \%$ ($P = 0.01$, 95% CI: 7.9 a 51.9 W, $d = 0.3$) y la velocidad máxima un $5.6 \pm 4.7 \%$ ($P = 0.03$, 95% CI: 0.01 a 0.13 m/s, $d = 0.1$), en comparación con la ingestión de placebo (Tabla 14). La cafeína también trasladó la curva de potencia relativa a las cargas hacia arriba, sin embargo, las diferencias con el placebo fueron significativas sólo en el 25%, 43% y 68% de 1RM ($P < 0.05$; Figura 25).

Tabla 14. Variables analizadas en el test incremental de 1RM en el ejercicio de press de banca con la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de peso corporal) o placebo (0 mg de cafeína).

Los datos se muestran con la media \pm desviación estándar para 14 atletas de Brazilian Jiu-jitsu.

	Placebo	Cafeína	Δ (%)	Valor <i>P</i>	Tamaño efecto
1RM (kg)	90 \pm 8.3	92.7 \pm 7.5	2.9 \pm 3.8	0.02*	0.4
Producción máxima de potencia (W)	750.5 \pm 154.7	826.9 \pm 163.7	10.5 \pm 5.9	< 0.01*	0.5
Producción media de potencia (W)	417.5 \pm 111.7	447.4 \pm 119.8	7.2 \pm 4.8	0.01*	0.3
Máxima velocidad (m \cdot s⁻¹)	1.28 \pm 0.7	1.35 \pm 0.7	5.6 \pm 4.7	0.03*	0.1

* = diferencia entre cafeína y placebo (*P* < 0.05)



* = diferencia entre cafeína y placebo (*P* < 0.05)

Figura 25. Máxima potencia propulsiva concéntrica en un test incremental de press de banca, con la ingestión de cafeína (3 mg por kilo de masa corporal) o placebo (0 mg de cafeína).

Los datos se presentan en media \pm desviación estándar para 14 atletas de Brazilian Jiu-jitsu.

Press de banca hasta la fatiga (BPE):

En comparación con el placebo, la ingesta de cafeína mejoró el número de repeticiones en el ejercicio de press de banca hasta la fatiga (21.8 ± 8.1 vs 25.0 ± 8.7 rep, $P = 0.04$, 95% CI: 0.2 a 6.0 rep, $d = 0.4$). Por otra parte, la cafeína aumentó la producción media de potencia muscular durante toda la prueba (280.2 ± 52.5 vs. 312.2 ± 78.3 W, $P = 0.047$, 95% CI: 0.6 a 63.3 W, $d = 0.6$). Si tenemos en cuenta las primeras 15 repeticiones (mínimo de repeticiones realizadas por todos los participantes), la cafeína mejoró la potencia media en comparación con la ingestión de placebo (335.1 ± 48.6 vs. 385.6 ± 36.5 W, $P < 0.001$, 95% CI: 39.0 a 61.9 W, $d = 1.0$) y analizando la potencia media por repeticiones, desplazó la curva hacia arriba con diferencias significativas entre los ensayos en casi todas las repeticiones (1, 2, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 14 y 15; Figura 26).

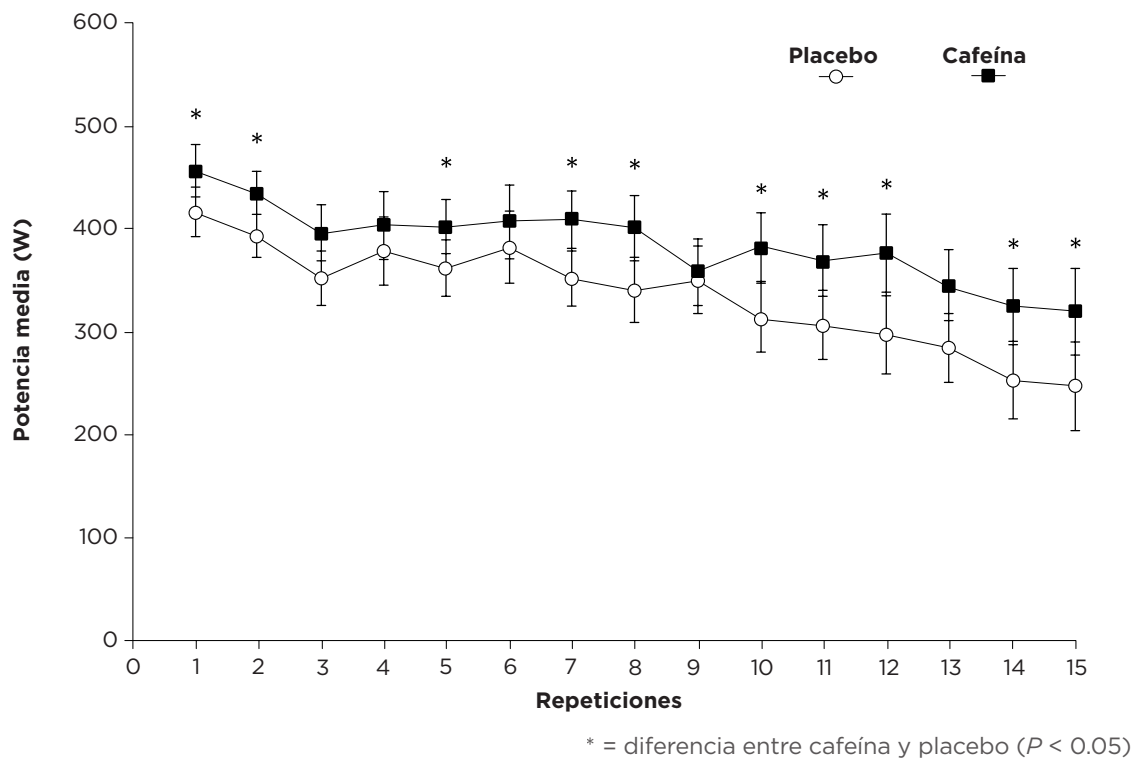


Figura 26. Potencia propulsiva media (con la carga de máxima potencia) durante un ejercicio de press de banca hasta la fatiga, con la ingestión de cafeína (3 mg por kilo de masa corporal) o placebo (0 mg de cafeína). Los datos se presentan en media \pm desviación estándar para 14 atletas de Brazilian Jiu-jitsu.

Frecuencia de los efectos secundarios derivados del consumo de cafeína.

Justo después de terminar las pruebas de rendimiento, el 42.8% (6 de 14) de los participantes informaron que notaron efectos/sensaciones diferentes, de sus habi-

tuales efectos/sensaciones durante el entrenamiento, cuando ingirieron la cafeína. Sin embargo, sólo 28.5% de la muestra (4 de 14) informaron que notaron efectos/sensaciones al ingerir el placebo. Todos estos datos indican el éxito conseguido sobre el ciego de los participantes en los ensayos. Los efectos secundarios típicos asociados a la ingesta de cafeína fueron similares en los dos ensayos, tanto con cafeína, como con placebo (Tabla 15). Sin embargo, la ingestión de cafeína mejoró su sensación de energía (5.2 ± 1.5 vs. 5.9 ± 1.2 puntos, $P = 0.05$) y aumentó la tasa de la sensación de fatiga (6.2 ± 1.2 vs. 6.5 ± 1.8 puntos, $P = 0.02$). Por último, las sensaciones de resistencia muscular, se clasificaron de manera muy similar en ambos ensayos experimentales (5.9 ± 1.0 vs. 5.9 ± 0.4 puntos, $P = 0.50$).

Tabla 15. Prevalencia de efectos secundarios durante las horas posteriores a la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de peso corporal) o placebo (0 mg de cafeína).

Los datos muestran la frecuencia para 14 atletas de BJJ.

	Placebo	Cafeína	Valor <i>P</i>
Dolor de cabeza	0	7.1	0.317
Malestar abdominal / intestinal	7.1	14.3	0.317
Rigidez muscular	14.3	28.6	0.564
Incremento del vigor / activación	14.3	42.8	0.157
Taquicardia y palpitaciones	0	0	-
Insomnio	7.1	14.3	0.564
Aumento de la producción de orina	0	0	-
Incremento de la ansiedad	0	0	-

4.3.4 Discusión

Una de las novedades de la presente investigación es la evaluación por primera vez, de los efectos de la cafeína en el rendimiento físico de los deportistas de élite de BJJ. Basándonos en la información científica previa sobre las exigencias físicas en el deporte del BJJ (da Silva et al., 2012; da Silva et al., 2014b; Díaz-Lara et

al., 2014), hemos tratado de definir las variables más significativas de rendimiento muscular en los deportistas de élite en BJJ, para ello realizamos un diseño experimental que incluía la medición de varias manifestaciones específicas de fuerza y potencia muscular en BJJ. En la presente investigación, los resultados muestran que la ingestión previa al ejercicio de cafeína ($3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) incrementó la fuerza máxima en los miembros superiores, tanto de forma isométrica (ej. prensión manual) como de forma dinámica (ej. 1 RM). La ingestión de cafeína también aumentó la producción de potencia máxima tanto en los miembros superiores (ej. test incremental en press de banca) como en los miembros inferiores (ej. test CMJ). Además, la cafeína se mostró eficaz para aumentar la resistencia muscular tanto de forma isométrica (ej. tiempo de permanencia con agarre) como de forma dinámica (ej. press de banca hasta la fatiga). Por otra parte, la prevalencia de los efectos secundarios, tales como la activación, la rigidez muscular, la ansiedad y el insomnio fueron similares después de la ingestión de cafeína y de placebo. Toda esta información sugiere que la cafeína podría ser una ayuda ergogénica eficaz y segura para los atletas de élite de BJJ.

La información científica sobre la eficacia de la cafeína para mejorar el rendimiento en los deportes de combate es muy escasa y controvertida. En judo, la ingesta de cafeína ($6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) no aumentó el rendimiento en una prueba de rendimiento específica (ej. Special Judo Fitness Test) (Lopes-Silva et al., 2014). En lucha (ej. *Submission wrestling*), la cafeína ($5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) tuvo un efecto perjudicial sobre el rendimiento intermitente de potencia en los brazos (ej. *Crank-arm Wingate*) en luchadores entrenados, simulando los tiempos de trabajo en una competición oficial (Aedma et al., 2013). Sin embargo, en un deporte de combate como el taekwondo, un estudio reciente ha sugerido que la ingesta de cafeína ($5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) mejoró el rendimiento en una tarea específica para este deporte, y puede ser eficaz para retrasar la fatiga durante sucesivos combates de taekwondo (Santos et al., 2014). Debido a las discrepancias obtenidas en los resultados de estas investigaciones y las diferencias solicitadas en las demandas físicas en estas disciplinas, es difícil deducir si la cafeína puede ser una ayuda ergogénica eficaz en los deportes de combate.

La presente investigación incluye la medición de varias manifestaciones de la fuerza para determinar inequívocamente el efecto ergogénico de la cafeína en los deportes de combate, con especial referencia a los atletas de BJJ. Nuestros datos indican que la ingestión de cafeína ($3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) aumentó la máxima producción de fuerza en el test de máxima prensión isométrica en ambas manos (Tabla 13), coincidiendo con Gallo-Salazar et al. (2015) y Del Coso et al. (2014) que mostraron incrementos significativos en máxima prensión isométrica en jugadores de tenis y voleibol con una dosis similar de cafeína. Los participantes en esta investigación,

también aumentaron su máxima producción de fuerza (ej. 1 RM) en el ejercicio de press de banca (Tabla 13). Del mismo modo, varias investigaciones anteriores mostraron una fuerza máxima significativamente mayor durante contracciones dinámicas ejecutadas con los miembros superiores, aplicando a los participantes dosis moderadas de cafeína ($2.5-6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) (Bazzucchi, Felici, Montini, Figura, & Sacchetti, 2011; Beck et al., 2006; Goldstein, Jacobs, Whitehurst, Penhollow, & Antonio, 2010), aunque otras investigaciones no encontraron ese efecto ergogénico (Astorino et al., 2008; Beck et al., 2008; Eckerson et al., 2013). En la presente investigación, no buscamos el origen de los beneficios obtenidos con la ingestión de cafeína en la máxima producción de fuerza. Sin embargo, investigaciones anteriores indican que el aumento de la producción de fuerza con la ingesta de cafeína o con productos que contienen esta sustancia, puede estar relacionado con el sistema nervioso central (ej. reclutamiento de las unidades motoras) (Warren et al., 2010) y con una mejor coordinación intra e inter-muscular (Del Coso et al., 2012b) en lugar de efectos más localizados.

Toda esta información sugiere que la cafeína puede mejorar la fuerza máxima, tanto en contracciones isométricas como dinámicas y por lo tanto, puede ser recomendada como una sustancia nutracéutica para aumentar la producción de fuerza muscular en BJJ.

Además de la producción de fuerza, la cafeína aumentó la potencia máxima en el press de banca (Tabla 13), incrementó la altura y la potencia de los miembros inferiores en el test CMJ (Tabla 13). Del Coso et al. (2012b) encontraron incrementos similares en la producción de máxima potencia tanto en ejercicios que implicaban la parte inferior del cuerpo (ej. sentadilla), como en ejercicios relacionados con los miembros superiores (ej. press banca), con la misma dosis de cafeína ($3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Pallares et al. (2013) encontraron que dosis de $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ son suficientes para mejorar las acciones musculares de alta velocidad frente a cargas bajas (25-50% de 1RM), también tanto en las extremidades superiores como inferiores. Analizando detalladamente los resultados de nuestra investigación, en relación a la potencia muscular de los brazos en un ejercicio específico como el press de banca, hemos encontrado que la cafeína incrementa significativamente la potencia máxima en la carga situada aproximadamente en el 43% de 1 RM, este resultado merece nuestra consideración, ya que en una reciente investigación da Silva et al. (2014b) hallaron que la carga óptima para desarrollar la máxima potencia en press de banca para los atletas de BJJ está en ~ 42% de 1 RM. Por lo que la cafeína ayudaría a incrementar la fuerza en el porcentaje de la carga en el cuál los atletas alcanzan la máxima potencia, este hecho debe ser tenido en cuenta por atletas y entrenadores de cara a la aplicación de las cargas en el entrenamiento de fuerza en este deporte.

Por último, las investigaciones recientes en varios deportes como fútbol, rugby, voleibol y bádminton, utilizando bebidas energéticas con cafeína ($3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) han obtenido mejoras de rendimiento tanto en la producción de potencia muscular de los miembros inferiores, como de altura durante diferentes pruebas de salto (Abian et al., 2015; Del Coso et al., 2014; Del Coso et al., 2013; Lara et al., 2014).

Parece evidente, que la cafeína es una ayuda ergogénica eficaz para mejorar las contracciones musculares realizadas a la máxima potencia, y debido a que estas acciones son vitales en los deportes de combate (da Silva et al., 2014b; Diaz-Lara et al., 2014; Franchini et al., 2013; Garcia-Pallares et al., 2011), se puede inferir que la cafeína es una ayuda eficaz para mejorar la potencia muscular en los miembros inferiores y superiores de los atletas de BJJ, y en otros deportes similares basados en la lucha mediante el agarre (ej. *grappling sports*).

En cuanto a las acciones de resistencia muscular, en el presente estudio se encontró que la ingesta de cafeína mejoró el tiempo registrado en una prueba de resistencia realizada con un agarre específico (MSL), una variable clave para los deportes de lucha con agarre (ej. judo, lucha libre olímpica, BJJ) (da Silva et al., 2012; Franchini et al., 2013; Garcia-Pallares et al., 2011). Coincidiendo con este hallazgo, Warren et al. (2010) en una investigación tipo meta-análisis, encontraron que la cafeína mejora la resistencia muscular en torno a un $\sim 18\%$ en estudios en los que se mantiene una fuerza isométrica submáxima hasta la fatiga. Además, en el presente estudio la ingesta de cafeína previa al ejercicio aumentó el número de repeticiones hasta el fallo en un test de press de banca, en el cuál, los atletas habían utilizado su carga de máxima potencia ($45.1 \pm 12.9\%$ de 1 RM). Considerando las 15 primeras repeticiones del ejercicio de press de banca hasta la fatiga, la ingestión de cafeína, sin duda, elevó la curva de potencia media (Figura 26). Varias investigaciones han observado el efecto de la cafeína ($2\text{-}6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) sobre la resistencia muscular, con el ejercicio de press de banca realizado hasta la fatiga, utilizando intensidades entre el 60-70% 1 RM. Por un lado, algunos estudios no encuentran beneficios con el consumo de cafeína (Astorino et al., 2008; Eckerson et al., 2013; Green et al., 2007), sin embargo, otras investigaciones utilizando el mismo test, las mismas intensidades, y similares dosis de cafeína ($2\text{-}5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), sí han obtenido mejoras relacionadas con la resistencia muscular y el consumo de cafeína (Duncan & Oxford, 2012; Duncan et al., 2013; Forbes et al., 2007).

Nuestros datos, no pueden explicar los controvertidos hallazgos de las investigaciones citadas anteriormente, pero como recomendación práctica para los deportes de lucha con agarre, en los cuáles la resistencia de fuerza se muestra como

uno de los componente más importantes en el rendimiento, especialmente cuando la duración de los combates se incrementa (Ratamess, 2011), sugerimos que la cafeína puede ser efectiva para mantener la fuerza y la potencia durante las contracciones musculares sostenidas en el tiempo, tanto de forma isométrica como dinámica.

Finalmente, para determinar si la cafeína representa un riesgo para el bienestar del atleta, se evaluaron los efectos secundarios típicamente asociados con la ingestión de cafeína en ambos ensayos experimentales (Abian et al., 2015; Del Coso et al., 2013). Estos efectos secundarios se evaluaron durante las 24 h posteriores a la ingesta de la cafeína, debido a que algunos de ellos pueden aparecer varias horas después de la administración de cafeína. En la presente investigación, el consumo de cafeína no produjo ningún efecto secundario justo después del combate o en las siguientes horas. Los efectos percibidos se limitaron a un aumento de la sensación de vigor y de la sensación de fatiga durante las pruebas. Estos datos indican que la dosis de cafeína aplicada ($3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) en una sola toma es segura para los atletas de BJJ.

Limitaciones de la investigación

Sería necesario determinar cómo los incrementos que se han producido en las manifestaciones específicas de la fuerza con la ingesta de cafeína se pueden traducir en mejoras en el contexto de un combate real o simulado.

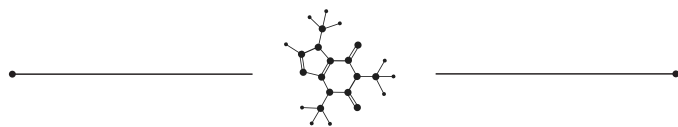
Aplicaciones prácticas

La ingestión de 3 mg de cafeína por kg de peso corporal, provoca incrementos en las variables más importantes de rendimiento muscular en los deportes de lucha en los que se utiliza el agarre (grappling sports). Por un lado las acciones basadas en la fuerza explosiva y la potencia, a menudo determinan el resultado de la lucha en los deportes indicados. En la presente investigación, obtuvimos mejoras en la potencia muscular comparables a varias semanas de entrenamiento específico. Como recomendación práctica para atletas y entrenadores, la dosis aplicada de cafeína se ha mostrado eficaz para incrementar la fuerza en el porcentaje de 1RM donde los atletas de BJJ alcanzan la máxima potencia en el ejercicio de press de banca (~ 42%) y además mejora una variable clave en este deporte como es el mantenimiento de las contracciones musculares sostenidas en el tiempo, tanto de forma isométrica como dinámica.

4.3.5 Conclusiones

La ingestión de 3 mg de cafeína por kg de peso corporal, provoca incrementos en diferentes variables relacionadas con el rendimiento muscular de los atletas

de élite de BJJ, sin embargo, esta dosis no provoca efectos secundarios perjudiciales en ellos. Por lo tanto, se puede concluir que la cafeína podría ser un suplemento nutricional ergogénico, que mejora la fuerza máxima dinámica e isométrica, la potencia muscular, y la resistencia de fuerza en los atletas de élite de BJJ.



4.4 Estudio 4

Una moderada dosis de cafeína mejora las acciones de alta intensidad y el rendimiento deportivo durante una competición simulada de Brazilian Jiu-jitsu

4.4.1 Objetivos

El principal objetivo de esta investigación fue determinar la efectividad de una dosis moderada de cafeína (3 mg de cafeína por kg de masa) para mejorar el rendimiento de los atletas durante una competición simulada de Brazilian Jiu-jitsu. Se plantea la hipótesis de que la cafeína puede incrementar la intensidad de la lucha, aumentar las acciones de éxito y mejorar las demandas físicas y fisiológicas que se producen durante una competición simulada de Brazilian Jiu-jitsu.

4.4.2 Material y métodos

Sujetos

Catorce atletas de BJJ participaron voluntariamente en esta investigación. Tenían una edad media de 29.2 ± 3.3 años, una estatura de 173.8 ± 6.2 cm, una masa corporal de 71.3 ± 9.1 kg, grasa corporal: $8.5 \pm 1.5\%$ y masa muscular: $50.6 \pm 3.3\%$. Todos los participantes fueron clasificados como élite, ya que habían ganado algún campeonato nacional en España en sus respectivos peso-categorías o habían clasificado entre los 3 primeros puestos en un campeonato internacional organizado por la Federación Internacional de BJJ (IBJJF), durante el año de realización del estudio. Todos los participantes tenían experiencia BJJ previa de un mínimo de 5 años y habían entrenado durante $\sim 2 \text{ h} \cdot \text{dia}^{-1}$, $6 \text{ días} \cdot \text{semana}^{-1}$ durante el año en el que se realizó la investigación. Además los participantes estaban libres de lesiones, no tomaron medicamentos o suplementos durante la duración del estudio, no eran fumadores, y se les clasificó como bajos consumidores de cafeína, utilizando cuestionarios en los que se recogía información sobre su dieta. Los participantes fueron plenamente informados sobre los riesgos y las molestias asociadas a los experimentos antes de dar su consentimiento informado por escrito para participar.

El estudio fue aprobado por la Junta de Revisión de la Universidad Camilo José Cela, de acuerdo con la última versión de la Declaración de Helsinki.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental a doble ciego aleatorizado y controlado para la realización del presente estudio. Cada atleta tomó parte en dos estudios experimentales a la misma hora del día y bajo las mismas condiciones controladas (temperatura: $21 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$; humedad relativa $30 \pm 5\%$). Los ensayos experimentales fueron separados una semana, para permitir una completa recuperación y lavado de la cafeína.

En cada ensayo experimental, los atletas ingirieron una cápsula opaca con una dosis individualizada de 3 mg de cafeína por kg de masa corporal (99% puro, Bulkpowders, UK) o una cápsula idéntica con celulosa (0 mg de cafeína $\cdot \text{kg}^{-1}$ de masa corporal; placebo). El orden de los ensayos experimentales fue aleatorio y contrabalanceado y se realizó por un investigador diferente de los que llevaron a cabo los test de rendimiento. Un código alfanumérico fue asignado en cada ensayo para cegar a los investigadores, para que de esta forma, no supieran la sustancia que ingerían los participantes en cada ensayo experimental. Este código se dio a conocer después del análisis estadístico de las variables.

Protocolo experimental

El día antes del diseño experimental, los participantes fueron pesados para calcular la dosis de cafeína, y se analizaron las medidas antropométricas por un antropometrista certificado por el ISAK. En el mismo día, se realizó un test de 1 RM en press de banca para determinar la carga individual en la que el atleta obtenía la máxima potencia. Esta carga sería utilizada en subsiguientes experimentos. Después de esto, se les indicó a los participantes que se abstuvieran de realizar ejercicio físico intenso y que llevaran a cabo una dieta similar en relación a la ingesta de líquidos. Los participantes fueron advertidos de que eliminaran de su dieta alimentos que fueran portadores de cafeína (café, bebidas de cola, chocolate etc.) en las 48 horas previas a la realización de los ensayos experimentales.

Los ensayos experimentales se llevaron a cabo en las instalaciones destinadas a los deportes de lucha y combate del Centro de Alto Rendimiento Deportivo de Madrid (CARD) perteneciente al Consejo Superior de Deportes. Los participantes llegaron 75 minutos antes del comienzo de la prueba experimental y tomaron la cápsula que se le había asignado para el ensayo. Entonces se pusieron la indumen-

taria habitual de competición, un *gi*, traje o *kimono* (habitual ropa de competición compuesta por una chaqueta de algodón reforzada y unos pantalones) y realizaron 15 min de calentamiento estandarizado. Sesenta minutos después de la ingestión de cafeína/placebo, los atletas realizaron varios test físicos (véase Figura 27).

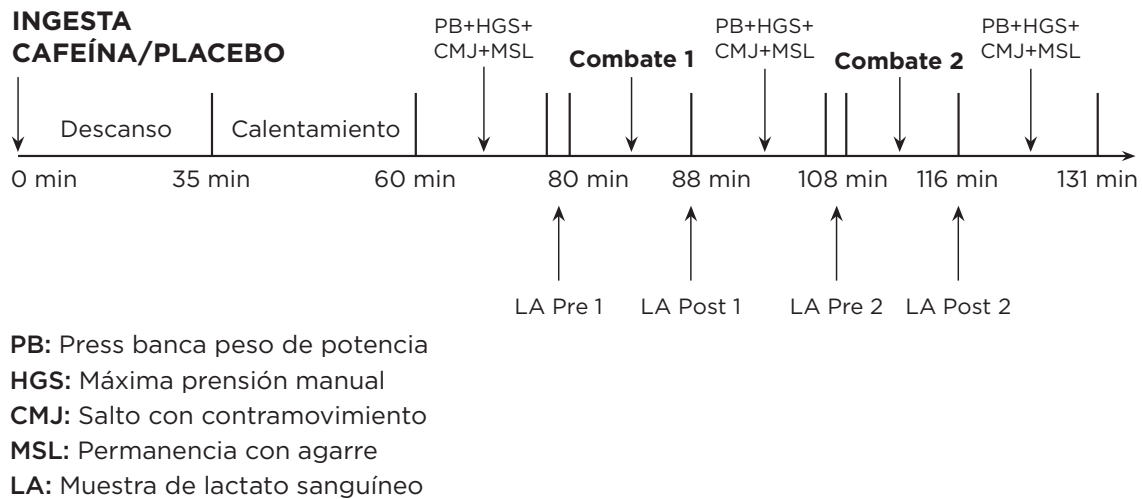


Figura 27. **Diseño experimental. Estudio 4.**

Combates simulados

En cada ensayo experimental, los sujetos realizaron 2 combates simulados de 8 min, llevados a cabo bajo las reglas oficiales de la IBJJF (International Brazilian Jiu-Jitsu Federation, 2014). Los combates se realizaron entre luchadores de la misma categoría de peso (menos de un 10% de diferencia de peso entre los atletas). Se mantuvieron los mismos oponentes a lo largo de todos los ensayos experimentales. Al inicio de cada combate, los luchadores comenzaban en pie y si una sumisión o finalización ocurría, los atletas debían comenzar de nuevo en la posición de inicio (desde pie), de esta forma se continuaba hasta que finalizaba el tiempo establecido. Había un tiempo establecido de 20 minutos entre combates (durante este período los atletas realizaban los test físicos). Siguiendo la categorización definida por Andreato et al. (2015), la intensidad de cada acción individual que sucedía durante la lucha era clasificada como de alta o baja intensidad. Una acción de alta intensidad ofensiva era identificada cuando el atleta trataba de avanzar, progresar, o evolucionar claramente con vigor, fuerza muscular, o potencia (ej. proyecciones o pases de guardia), mientras que una acción defensiva de alta intensidad era identificada cuando el atleta trataba de escapar o salir de una posición de desventaja con el mismo vigor, potencia etc. (ej. escape de una técnica de inmovilización). Una acción

neutral, era identificada cuando ningún luchador intentaba avanzar claramente o las acciones llevadas a cabo eran realizadas a baja intensidad. Cada cambio en la categorización de las acciones era considerada como un bloque. Por último, se realizó un sencillo análisis basado en el número total de acciones realizadas con éxito, es decir, que subirían al marcador en un combate real bajo las reglas oficiales (International Brazilian Jiu-Jitsu Federation, 2014) (ej. ventajas, puntos o finalizaciones), se computaron las acciones exitosas de cada luchador de manera individual. Para todos estos análisis técnicos, se utilizaron tres videocámaras (Handycam HDR-XR-200VE, Sony, España), que fueron posicionadas en cada uno de los tatamis que se utilizaron para los combates (Figura 28). La grabación se realizó a 20 Hz para que posteriormente, 2 observadores entrenados y experimentados, que no tenían conocimiento de los tratamientos utilizados con los atletas, los analizaran utilizando el programa Sony Vegas Pro 8.0® software (Sony Creative Software, Middleton, WI, USA). Cada análisis fue considerado como objetivo y fiable, para ello se determinó el coeficiente de correlación intraclase (ICC) de los observadores, que en todos los casos fue mayor de 0.90.



Figura 28. Disposición de los tatamis y posición de las cámaras.

Se realizaron 4 mediciones de lactato sanguíneo a cada luchador en cada ensayo experimental: Inmediatamente antes y después de la primera lucha (ej. 1 min antes de finalizar la lucha) e inmediatamente antes y después de la segunda lucha (Figura 29). Para cada medición de lactato sanguíneo, se extrajeron 0.2 µl tomados en el dedo índice. La concentración de lactato sanguíneo se determinó utilizando un analizador portátil (Lactate Scout, Alemania) dotado de un biosensor enzimático-anpirométrico como elemento de medida.



Figura 29. Análisis de lactato sanguíneo pre y post combates.

Test físicos

Treinta minutos antes del primer combate, después del calentamiento, los participantes realizaron una acción concéntrica máxima de brazos en el ejercicio de press de banca a la máxima velocidad posible, con la carga con la que ellos habían obtenido su máxima potencia muscular (ej. $45.1 \pm 12.9\%$ de 1RM, (mirar arriba); Des-

pués los participantes realizaron un test de máxima fuerza isométrica de prensión con ambas manos, medido con una dinamómetro (Grip-D, Takei, Japón) con una precisión de 1 N. Seguidamente los participantes realizaron un salto con contramovimiento en una plataforma de fuerzas (Quattro Jump, Kistler, Suiza) con una frecuencia de muestreo de 500 Hz y una precisión de 1 N. Después los sujetos realizaron un test específico de permanencia de agarre (MSL) para determinar la resistencia de fuerza. El test MSL es útil para diferenciar entre atletas de BJJ de diferentes niveles y tiene una alta fiabilidad (ICC: MSL=0.97). Utilizamos el protocolo seguido por da Silva et al. (2012): los participantes realizaron un agarre mantenido sobre las solapas de una chaqueta que se encontraba enrollada alrededor de una barra elevada (2.5 m desde el suelo). Los test descritos se realizaron en todos los bloques de medición en el mismo orden. La recuperación que se realizó entre los combates sirvió para evaluar la fatiga muscular inducida por los mismos (Figura 30).





Figura 30. *Test Físicos realizados pre y post combates.*

Análisis estadístico

Los datos fueron recogidos como indicamos previamente y los resultados de cada test fueron introducidos a ciegas y posteriormente fueron analizados con el paquete estadístico SPSS v 19.0. Todas las variables incluidas en esta investigación presentaron una distribución normal ($P > 0.05$).

Las comparaciones intra-grupos (pre, post-1 y post-2) y entre-grupos (cafeína vs. placebo) fueron realizadas usando una ANOVA de dos factores (instante x grupo) con medidas repetidas. Se utilizó la corrección de Geisser-Greenhouse para la asunción de la esfericidad. Cuando la ANOVA indicó un efecto principal significativo, se realizó un análisis Post-hoc con el ajuste de Bonferroni. El tamaño del efecto se calculó en todas las comparaciones por pares de acuerdo a la fórmula propuesta por Glass et al. (1981). La magnitud del efecto se interpretó utilizando la escala de Cohen (1988): un tamaño del efecto menor que 0.2 era considerado como pequeño, un tamaño del efecto alrededor de 0.5 fue considerado como medio, y un tamaño del efecto superior a 0.8 fue considerado como grande. El nivel de significación fue establecido en $P < 0.05$. Los datos se presentan en media \pm desviación estándar.

4.4.3 Resultados

Acciones durante los combates

En comparación con el placebo, la cantidad de acciones de alta intensidad (tiempo y bloques) fueron mayores con la ingestión de cafeína en el combate 1 (tiempo: $P = 0.02$, $d = 1.2$; bloques: $P < 0.01$, $d = 1.4$) y en el combate 2 (tiempo: $P = 0.01$, $d = 0.5$; bloques: $P = 0.04$, $d = 0.5$). En el ensayo con cafeína se realizaron más acciones con éxito en el combate 2 en comparación con el combate 1 ($P = 0.02$, $d = 0.6$). No se encontraron diferencias significativas en las acciones defensivas de alta intensidad o en las acciones neutras entre cafeína y placebo (Tabla 16). Tampoco se encontraron diferencias significativas entre el combate 1 y el combate 2 en las demás variables analizadas.

Tabla 16. Estructura temporal (acciones de alta intensidad y neutras) en dos combates sucesivos durante una simulación de competición en Brazilian Jiu-jitsu, con la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de peso corporal) o placebo (0 mg de cafeína).

Los datos se presentan en media \pm desviación estándar para 14 participantes.

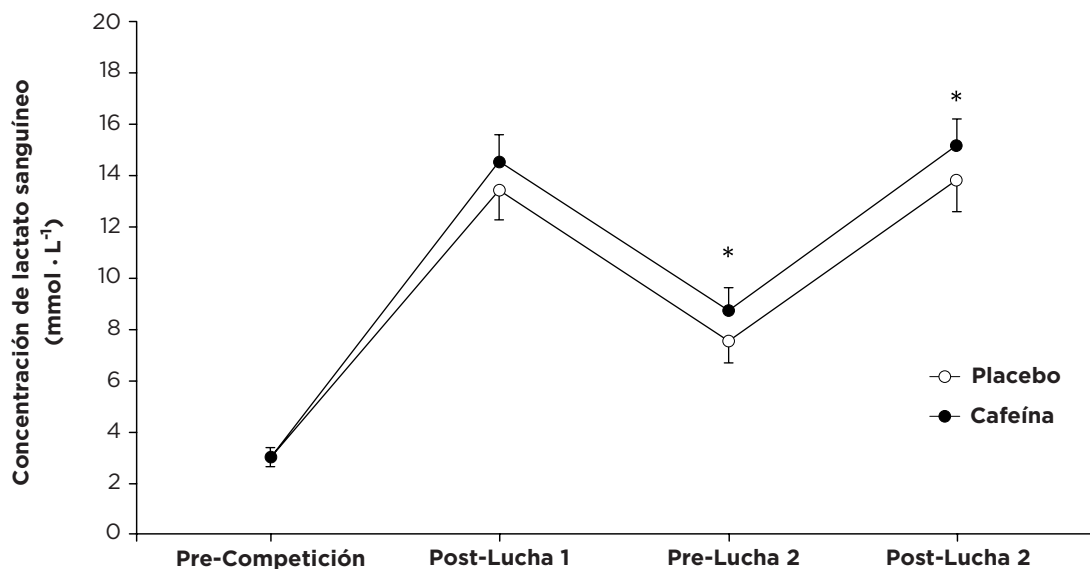
	PLACEBO	CAFEÍNA
Acciones ofensivas con éxito		
Combate 1	2.4 \pm 2.8	3.6 \pm 3.4
Combate 2	4.2 \pm 4.6	5.4 \pm 5.1 *
Tiempo de acciones ofensivas alta intensidad (s)		
Combate 1	23.5 \pm 11.3	37.2 \pm 18.9 *
Combate 2	30.7 \pm 24	43.6 \pm 27.3 *
Acciones ofensivas de alta intensidad (bloques)		
Combate 1	6.3 \pm 2.9	10.5 \pm 5.0 *
Combate 2	8.4 \pm 4.4	10.8 \pm 5.6 *
Tiempo de acciones defensivas alta intensidad (s)		
Combate 1	14.2 \pm 11.6	14.2 \pm 10.3
Combate 2	14.7 \pm 12.0	19.2 \pm 18.9
Acciones defensivas de alta intensidad (bloques)		
Combate 1	4.3 \pm 3.5	3.7 \pm 2.8
Combate 2	4.4 \pm 3.1	4.5 \pm 3.9

Tiempo neutral de acciones (s)		
Combate 1	366.7 ± 91.1	379.8 ± 58.1
Combate 2	343.8 ± 72.5	349.9 ± 56.6
Acciones neutrales (bloques)		
Combate 1	9.2 ± 1.5	11.2 ± 2.8
Combate 2	11.0 ± 3.1	12.5 ± 4.4

* = diferencia entre cafeína y placebo ($P < 0.05$)

Concentración de lactato sanguíneo

No se encontraron diferencias significativas en la concentración de lactato sanguíneo entre el ensayo de placebo y cafeína en la medida tomada pre competición (placebo: 3.1 ± 1.2 vs. cafeína: 3.0 ± 1.1 mmol · L⁻¹, $P = 0.33$) ni después de la 1ª lucha (13.3 ± 3.9 vs. 14.5 ± 3.7 mmol · L⁻¹, $P = 0.09$). Sin embargo, la concentración de lactato sanguíneo fue más elevada en el ensayo de cafeína, que en el de placebo, en la medición tomada antes de la 2ª lucha (7.5 ± 2.7 vs. 8.8 ± 2.9 mmol · L⁻¹, $P = 0.01$, $d = 0.5$) y justo después de la 2ª lucha (13.6 ± 4.0 vs. 15.2 ± 3.3 mmol · L⁻¹, $P = 0.02$, $d = 0.5$; Figura 31).



* = diferencia entre cafeína y placebo ($P < 0.05$)

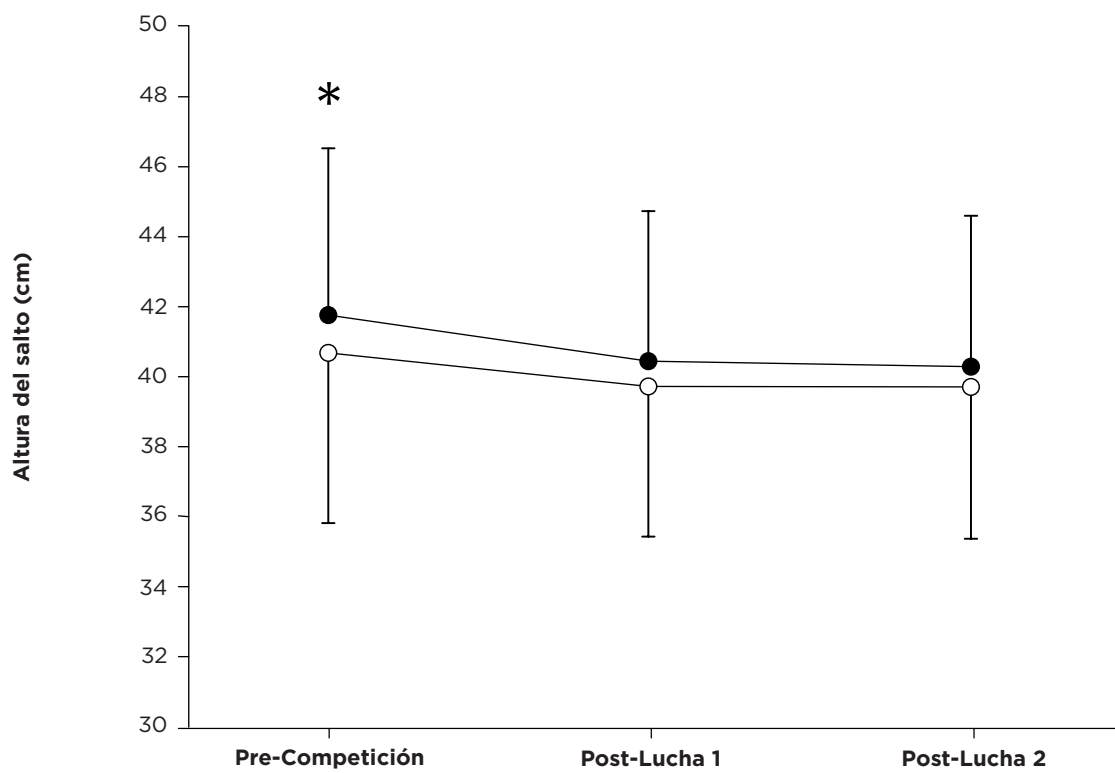
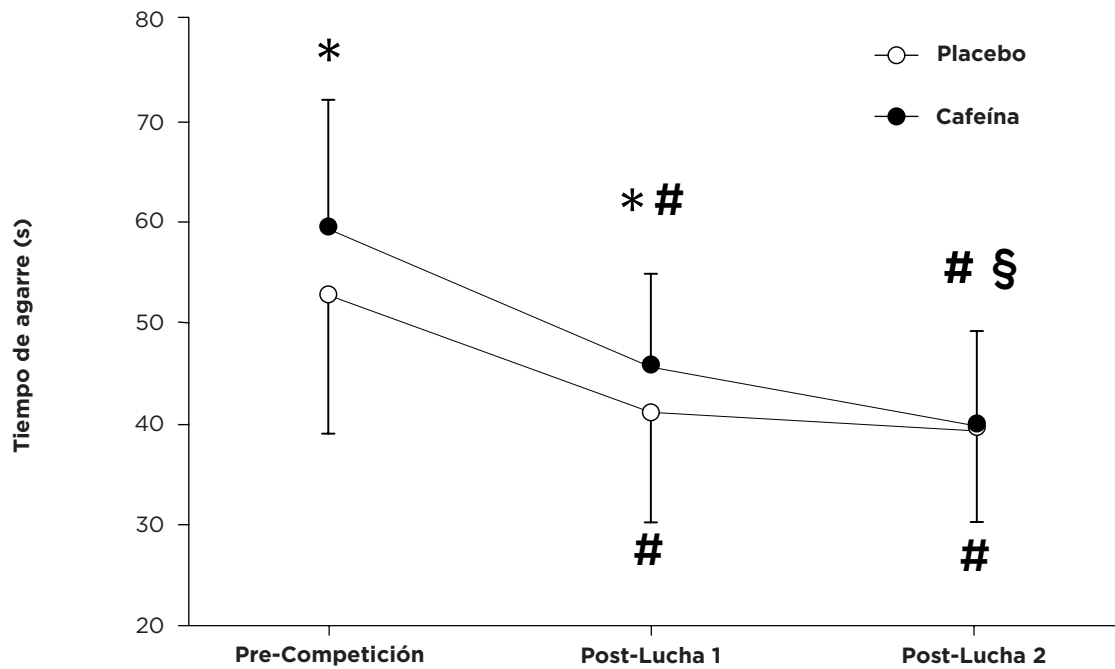
Figura 31. Concentración de lactato sanguíneo en una competición simulada de Brazilian Jiu-jitsu, con la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de peso corporal) o placebo (0 mg de cafeína). Los datos se presentan en media ± desviación estándar para 14 participantes.

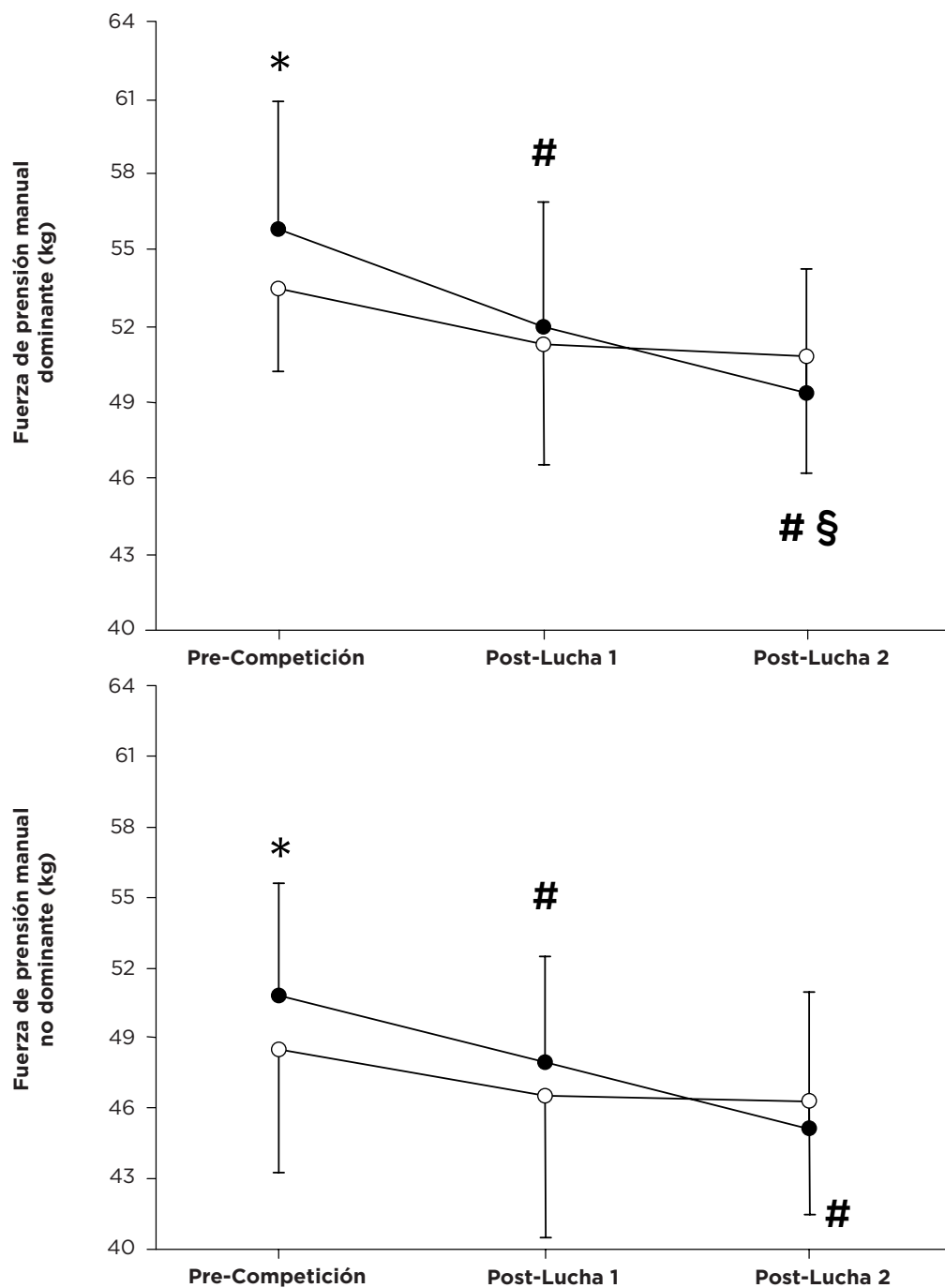
Prensión isométrica máxima, permanencia de agarre específico y altura en un salto con contramovimiento

En comparación con el placebo, la ingesta de cafeína aumentó la fuerza isométrica máxima de prensión antes de la competición, en la mano dominante ($4.4 \pm 6.3 \%$, $P = 0.01$, $d = 0.8$) y en la mano no dominante ($4.9 \pm 7.2 \%$, $P = 0.02$, $d = 0.4$). La fuerza de prensión disminuyó de forma significativa en mayor medida en el ensayo con cafeína, que en el ensayo con placebo, desde el instante pre competición hasta las mediciones realizadas después de la 1ª y la 2ª lucha, para ambas manos ($P < 0.05$; Figura 32). Además, se observaron disminuciones significativas de fuerza isométrica de prensión para ambas manos en el ensayo con cafeína entre la medición pre competición y la medición post 1ª lucha del $7.5 \pm 4.2 \%$ ($P < 0.01$, $d = 0.8$). También se observaron disminuciones entre la medición pre competición y la medición post 2ª lucha, tanto en la mano dominante ($13.4 \pm 8.4 \%$; $P < 0.01$, $d = 1.2$) como en la no dominante ($13.1 \pm 8.2 \%$, $P < 0.01$, $d = 0.9$) y entre la medición tomada post 1ª lucha y la realizada post 2ª lucha en la no dominante ($7.0 \pm 7.8 \%$, $P < 0.01$, $d = 0.5$). No se encontraron diferencias significativas entre las luchas para la máxima prensión isométrica en el ensayo con placebo (Figura 32) (Tabla 17).

La ingesta de cafeína incrementó el rendimiento en el test de máxima permanencia de agarre específico, en el momento previo a la competición en un $15.8 \pm 17.0 \%$ ($P < 0.01$, $d = 0.5$) y tras la 1ª lucha en un $17.8 \pm 30.6 \%$ ($P < 0.01$, $d = 0.5$). El descenso en este test fue más elevado en el ensayo con cafeína, que en el ensayo de placebo en varias mediciones, desde Pre a Post 2 y desde Post 1 a Post 2 ($P < 0.05$). Además se encontraron disminuciones significativas tanto en el ensayo de placebo entre la medición Pre competición y las otras dos mediciones Post 1 y Post 2 (Post-lucha 1 vs. pre-competición: $31.4 \pm 26.7 \%$, $P < 0.01$, $d = 1.1$ y Post-lucha 2 vs. Pre-competición: $33.9 \pm 22.7 \%$, $P < 0.01$, $d = 1.4$) como en el ensayo con cafeína (Post-lucha 1 vs. Pre-competición: $35.3 \pm 23.3 \%$, $P < 0.01$, $d = 1.5$ y Post-lucha 2 vs. Pre-competición: $50.6 \pm 30.0 \%$, $P < 0.01$, $d = 2.1$). Por último, también se encontraron disminuciones significativas entre la 1ª y la 2ª lucha en el ensayo con cafeína. ($15.3 \pm 12.5 \%$, $P < 0.01$, $d = 0.6$) (Figura 32) (Tabla 17).

La altura en el salto con contramovimiento se incrementó con la ingestión de cafeína en un $3.7 \pm 3.7 \%$, ($P = 0.02$, $d = 0.2$) en el registro previo a las luchas. No se encontraron diferencias significativas entre los demás registros medidos.





* = diferencias entre cafeína y placebo ($P < 0.05$).

diferencias desde pre-competición ($P < 0.05$); § diferencias desde post-lucha 1 ($P < 0.05$).

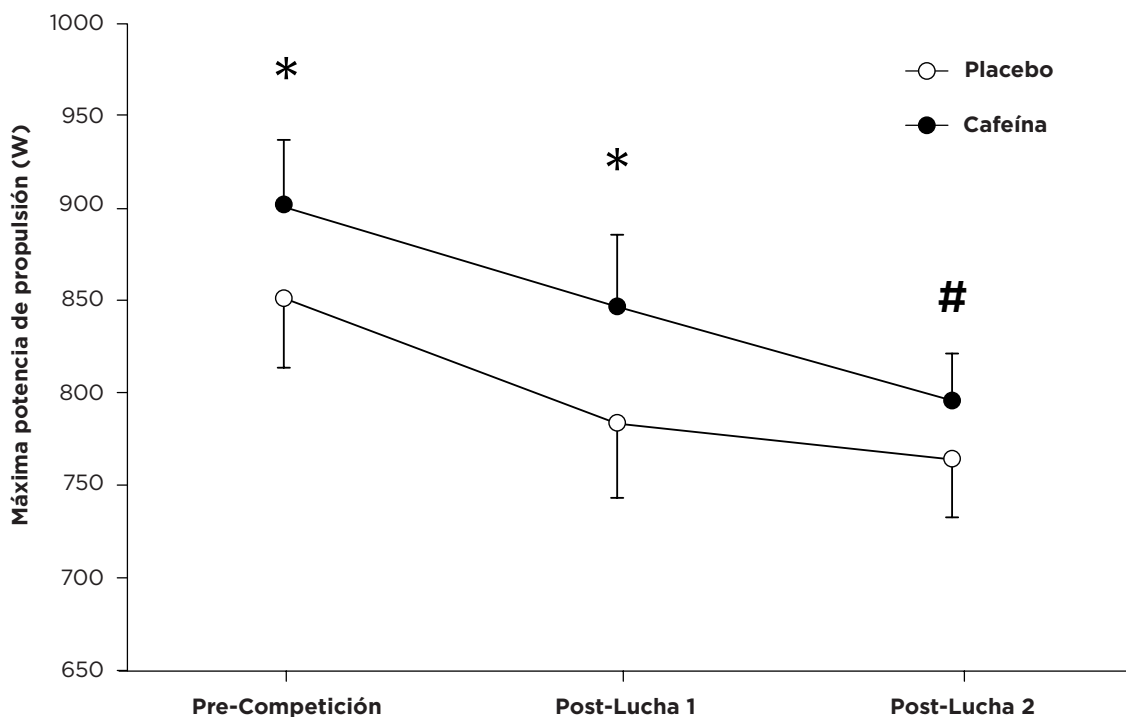
Figura 32. Permanencia en el test de agarre específico, altura en un salto con contramovimiento y máxima fuerza de prensión isométrica, antes y después de una competición simulada de Brazilian Jiu-jitsu con la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de masa corporal) o placebo (0 mg de cafeína). Los datos se presentan en media \pm desviación estándar para 14 participantes.

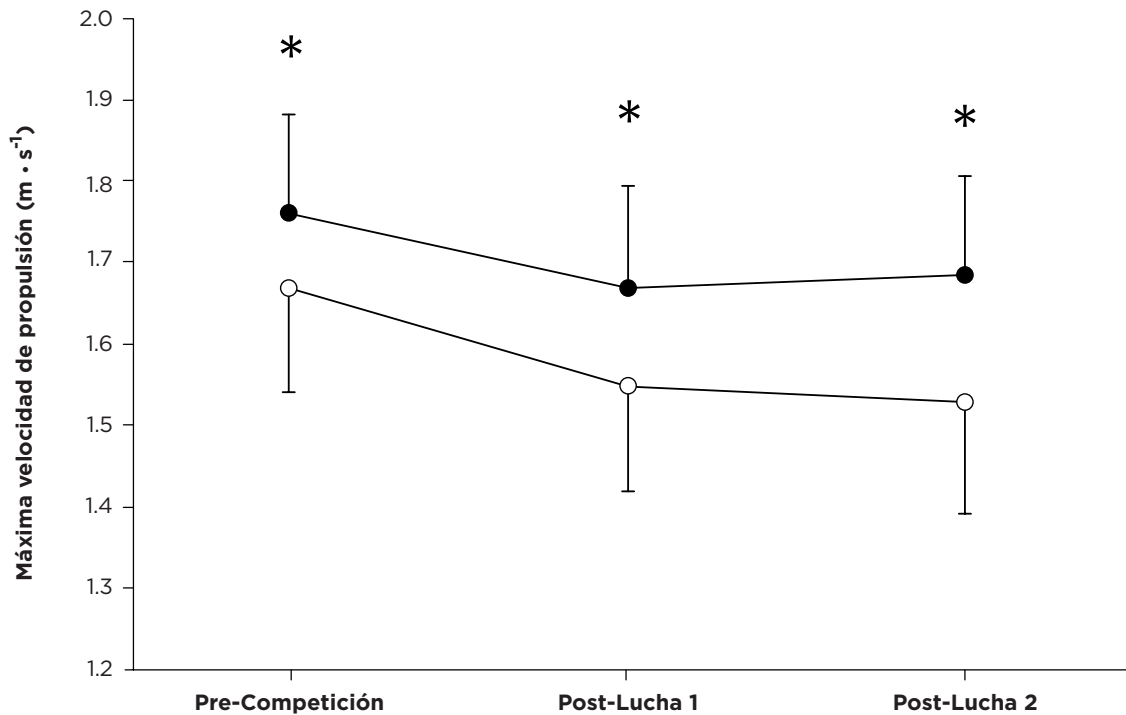
Tabla 17. Máxima fuerza de prensión isométrica, permanencia en el test de agarre específico y altura en un salto con contramovimiento, antes y después de una competición simulada de Brazilian Jiu-jhhitsu con la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de masa corporal) o placebo (0 mg de

	PRE	POST-1	DIFF (P1 - PRE)	POST-2	DIFF (P2 - P1)	DIFF (P2 - PRE)
<i>Prensión isométrica dom. (kgf)</i>						
placebo	53.5 ± 3.2	51.3 ± 4.7	-2.2 (-5.1 a 0.8)	50.8 ± 4.6	-0.5 (-2.7 a 1.8)*	-2.6 (-6.1 a 0.8)
cafeína	55.9 ± 5.1	52.0 ± 4.9	-3.9 (-7.2 a -0.5)*	49.4 ± 4.9	-2.6 (-5.3 a 0.2)	-6.5 (-9.4 a -3.5)*
DIFF (CAF-PLA)	2.4 (0.3 a 4.5)*	0.7 (-1.7 a 3.1)	-1.7 (-4.8 a 1.4)	-1.4 (-4.1 a 1.2)	-2.1 (-4.9 a 0.6)	-3.8 (-7.1 a -0.6)*
<i>Prensión isométrica no dom. (kgf)</i>						
placebo	48.4 ± 5.2	46.4 ± 5.8	-2.0 (-5.9 a 1.8)	46.2 ± 4.7	-0.2 (-2.3 a 1.9)	-2.2 (-5.3 a 0.9)
cafeína	50.7 ± 4.9	47.9 ± 4.6	-2.7 (-4.2 a -1.2)*	45.1 ± 5.8	-2.9 (-5.4 a -0.4)*	-5.6 (-8.1 a -3.0)*
DIFF (CAF-PLA)	2.2 (0.4 a 4.0)*	1.5 (-1.2 a 4.3)	-0.7 (-4.3 a 2.9)	-1.2 (-2.7 a 0.3)	-2.7 (-5.4 a -0.0)*	-3.4 (-5.4 a -1.4)*
<i>Tiempo en agarre (s)</i>						
placebo	52.7 ± 13.5	40.9 ± 10.5	-11.8 (-19.1 a -4.5)*	39.6 ± 9.4	-1.3 (-6.6 a 4.0)	-13.1 (-19.9 a -6.3)*
cafeína	59.6 ± 12.6	45.8 ± 9.2	-13.8 (-19.4 a -8.2)*	40.2 ± 9.0	-5.6 (-8.6 a -2.6)*	-19.4 (-26.1 a -12.7)*
DIFF (CAF-PLA)	6.9 (2.8 a 10.9)*	4.9 (0.3 a 9.6)*	-1.9 (-7.7 a 3.8)	0.6 (-2.9 a 4.2)	-4.3 (-8.3 a -0.3)*	-6.2 (-10.2 a -2.3)*
<i>Altura del salto CMJ (cm)</i>						
placebo	40.6 ± 4.8	39.7 ± 4.3	-0.4 (-2.4 a 1.6)	39.7 ± 4.4	0.2 (-1.5 a 1.9)	-0.2 (-1.6 a 1.2)
cafeína	41.7 ± 4.2	40.4 ± 5.3	-0.4 (-1.7 a 0.9)	40.2 ± 5.1	-0.2 (-1.5 a 1.2)	-0.6 (-2.3 a 1.1)
DIFF (CAF-PLA)	1.1 (0.2 a 1.9)*	1.0 (0.1 a 2.1)*	-0.0 (-1.3 a 1.2)	0.7 (-0.5 a 1.9)	-0.4 (-1.9 a 1.2)	-0.4 (-1.8 a 1.0)

Peso de potencia en press de banca

Los resultados de la máxima potencia en press de banca se muestran en la Figura 33. La máxima potencia fue más elevada con la ingestión de cafeína en comparación con el placebo en las mediciones realizadas previas a la competición (902 ± 129 vs. 850 ± 136 W, $P = 0.04$, $d = 0.4$) y después de la 1ª lucha (847 ± 143 vs. 783 ± 143 W, $P = 0.02$, $d = 0.4$). Además en el ensayo de cafeína, la máxima potencia descendió significativamente entre la medición previa a la competición y la medición realizada después de la 2ª lucha en 13.2 ± 7.7 % ($P = 0.00$, $d = 1.1$; Figura 33). En cuanto a la velocidad máxima, en comparación con el placebo, la ingesta de cafeína la incrementó en la medición previa a la competición (1.76 ± 0.45 vs. 1.67 ± 0.48 m/s, $P = 0.03$, $d = 0.2$), después de la 1ª lucha (1.67 ± 0.47 vs. 1.55 ± 0.49 m/s, $P = 0.02$, $d = 0.3$) y después de la 2ª lucha (1.69 ± 0.44 vs. 1.52 ± 0.51 m/s, $P = 0.01$, $d = 0.4$) (Figura 33).





* = diferencias entre cafeína y placebo ($P < 0.05$).

diferencias desde pre-competición hasta post 2ª lucha. ($P < 0.05$).

Figura 33. Máxima velocidad (arriba) y máxima potencia (pág. anterior) durante la fase concéntrica de un ejercicio de press de banca, antes y después de una competición simulada de Brazilian Jiu-jitsu con la ingestión de cafeína (3 mg de cafeína por kg de peso corporal) o placebo (0 mg de cafeína). Los datos se presentan en media \pm desviación estándar para 14 participantes.

4.4.4 Discusión

El uso de la cafeína y/o productos que contienen cafeína, está extendido entre los atletas que practican deportes de combate, sin embargo, no existe suficiente información para determinar si esta sustancia puede beneficiar a este tipo de deportes, que combinan altos valores de fuerza muscular aplicada de una forma intermitente, con unas habilidades técnico tácticas complejas. Por esta razón, el objetivo de esta investigación fue determinar la eficacia de una ingesta moderada de cafeína (3 mg por kg de masa corporal) para mejorar el rendimiento durante una competición simulada de Brazilian Jiu-jitsu.

Los principales hallazgos de este estudio indicaron que la ingestión de cafeína: (1) incrementó el tiempo y el número de acciones ofensivas de alta intensi-

dad durante dos combates simulados, hecho que es corroborado por incrementos significativos de los valores de lactato sanguíneo en comparación con el placebo (Tabla 16. Figura 31; $P < 0.05$); (2) mejoró el rendimiento en todos los test físicos específicos medidos previamente a la realización de los combates (ej. máxima fuerza isométrica de prensión, máxima potencia muscular en los miembros inferiores y superiores y resistencia específica a la fuerza de agarre (Figura 32 y 33 y Tabla 16), y algunos de los incrementos en los test físicos se mantuvieron después del primer combate (ej. máxima potencia en los miembros superiores y resistencia específica a la fuerza de agarre o MSL); (3) los test físicos específicos medidos justo después del segundo combate, también podrían reafirmar la máxima intensidad realizada por los atletas durante los combates en el ensayo con cafeína, porque se observaron reducciones significativas en la capacidad de agarre (ej. máxima fuerza isométrica de prensión manual y resistencia a la fuerza de agarre) y en la máxima potencia en los miembros superiores (ej. press de banca) en comparación con el placebo (Figura 32 y 33) (Tabla 16). Estos resultados sugieren que la cafeína puede ser una ayuda ergogénica para mejorar varios aspectos de rendimiento de los atletas de Brazilian Jiu-jitsu.

El análisis de video realizado durante los dos combates de los que se compuso la simulación de competición, reveló incrementos en el tiempo y el número de acciones ofensivas de alta intensidad con la suplementación de cafeína. Además, con la ingesta de cafeína se produjeron más acciones ofensivas exitosas en el combate 2 en comparación con el combate 1 en el ensayo con cafeína. Por otro lado, Lopes-Silva et al. (2014), sugieren que el consumo de cafeína no incrementó el rendimiento durante una test intermitente de alta intensidad específico para judo. Sin embargo, Santos et al. (2014) observaron que la cafeína permitió mantener la intensidad durante dos combates sucesivos de taekwondo, y también aumentó el número de ataques/acciones ofensivas en el segundo combate en comparación con el placebo. Una posible explicación para que se incrementen solamente las acciones ofensivas en nuestra investigación, podría estar vinculada a la idea de que esta sustancia parece mejorar la activación, el vigor, la impulsividad y la toma de riesgos (Sawyer, Julia, & Turin, 1982; Souissi et al., 2012), además, dosis muy próximas ($\sim 3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) de cafeína incrementaron la concentración de testosterona en un $\sim 12\%$, y esta hormona está asociada a un incremento de las conductas de riesgo y la agresividad (Paton, Lowe, & Irvine, 2010). Podría ser muy interesante seguir investigando en este “efecto extra” que provoca la cafeína en los deportes de combate, ya que un incremento de la activación y de la intensidad, tanto en los entrenamientos como en la competición, puede resultar clave para conseguir el éxito en este tipo de deportes (Díaz-Lara, Del Coso, García, & Abian-Vicen, 2015; Moreira et al., 2012).

Nuestros hallazgos en relación con la intensidad y el tiempo de la acciones, están acompañados por altos valores de lactato, antes y después del segundo combate (Figura 31). Basándonos en las investigaciones actuales, la relación entre la ingestión de cafeína y el incremento de los niveles de lactato después de ejercicios intermitentes es contradictoria. Mientras algunos estudios han mostrado que la ingesta de cafeína ($6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) no provoca alteraciones, ni en la concentración de lactato sanguíneo, ni en el rendimiento durante ejercicios repetidos de corta duración y alta intensidad (Greer et al., 1998; Pruscino et al., 2008), otras investigaciones han obtenido niveles más elevados de lactato sanguíneo coincidiendo con la ingesta de cafeína ($5\text{-}6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; (Aedma et al., 2013; Lopes-Silva et al., 2014)), sin que esto supusiera un aumento del rendimiento. Sin embargo, otras investigaciones sí han mostrado aumentos en la concentración de lactato sanguíneo, acompañados de beneficios en el rendimiento en actividades relacionadas con múltiples sprints y máxima intensidad, después de la suplementación con cafeína ($5\text{-}6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) (Glaister et al., 2008; Lopes-Silva et al., 2014; Schneiker et al., 2006). A pesar de las discrepancias obtenidas en los resultados de las mencionadas investigaciones, se puede observar que en la presente investigación, la cafeína incrementó la intensidad de los atletas durante los combates y por consiguiente, supuso un aumento de la concentración de lactato sanguíneo, siendo ésto una consecuencia directa del incremento del metabolismo anaeróbico glucolítico.

En relación a los test físicos específicos aplicados en tres instantes concretos de la investigación (véase Figura 32 y 33), todos ellos mejoraron en el momento previo a la competición con la ingestión de cafeína. Respecto a la máxima producción de fuerza, se incrementó en ambas manos (Figura 32). En estudios previos con similares dosis de cafeína ($3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), se han reportado mejoras significativas en la fuerza isométrica de prensión en tenistas y en jugadores de voleibol (Del Coso et al., 2014; Gallo-Salazar et al., 2015). En cuanto a las acciones de resistencia muscular, la ingestión de cafeína incrementó el tiempo de permanencia en un test específico de agarre (ej. *maximum static lift*; Figura 32), una variable clave para los deportes de lucha mediante el agarre como el judo, la lucha libre olímpica y el BJJ (Bonitch-Gongora et al., 2012; da Silva et al., 2012; Garcia-Pallares et al., 2011). Otro interesante resultado de este estudio fue el aumento de la altura del salto (Figura 32) y de la máxima potencia en press de banca (Figura 33). Estos hallazgos son consistentes con otras investigaciones que han encontrado que dosis de $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, son suficientes para incrementar los resultados en máxima potencia en press de banca, con cargas similares a las de la presente investigación (Del Coso et al., 2012b; Pallares et al., 2013) y con varias investigaciones que muestran incrementos similares en altura del salto con la

misma dosis de cafeína en varios deportes (Del Coso et al., 2014; Del Coso et al., 2013; Lara et al., 2014).

En cuanto a las mediciones realizadas después del primer combate, la cafeína logró mantener el incremento en los test de resistencia específica de agarre, y de máxima potencia en press de banca (Figura 32 y Figura 33 y Tabla 16). Si hablamos de la resistencia específica de agarre, Warren et al. (2010) en un artículo de revisión encontró que la cafeína aumentaba la resistencia muscular en torno a un ~18%, en estudios en los que la fuerza isométrica submáxima era mantenida hasta la fatiga. Es destacable el hecho de que la suplementación con cafeína mantuvo más elevada la velocidad media con el peso de máxima potencia de los miembros superiores durante todas las mediciones realizadas (ej. pre, post 1 y post 2) en comparación con el placebo. Este resultado cobra todavía mayor relevancia si tenemos en cuenta que los/as momentos/acciones decisivos/as que determinan el resultado de un combate en los principales deportes de lucha mediante el agarre (judo, lucha libre olímpica y BJJ), están basados en la potencia muscular (Andreato et al., 2015; Díaz-Lara et al., 2015; Franchini et al., 2013; Garcia-Pallares et al., 2011), además la capacidad de repetir estas acciones de potencia en presencia de fatiga es uno de los componentes más cruciales de rendimiento en los citados deportes (Ratamess, 2011).

Por último, en relación a los test físicos específicos medidos al final de la segunda lucha, la ingesta de cafeína redujo significativamente la resistencia de agarre específica, la producción de máxima fuerza isométrica en ambas manos y la máxima potencia en press de banca con respecto a las mediciones previas a la competición. Por un lado, parece evidente que estas reducciones apoyan la idea, junto con el incremento en las acciones ofensivas de alta intensidad y en el lactato sanguíneo, que la cafeína aumenta la intensidad de los combates. Sin embargo, a pesar de las citadas reducciones registradas, los valores obtenidos en estos test físicos no están por debajo de los registrados en el ensayo de placebo. Además, hay que añadir el hecho de que los atletas en el ensayo con cafeína, terminaron el segundo combate con más acciones exitosas, que suponían más puntos según la reglamentación oficial, por lo que se reafirma la idea de que la ingesta de cafeína aumentó la intensidad y no sólo no perjudicó sino que mejoró el rendimiento de los atletas, incluso durante el segundo combate. Por lo tanto, parece que el consumo de una moderada dosis de cafeína aumenta el número y el tiempo de acciones ofensivas realizadas a alta intensidad y el rendimiento de los atletas durante varios combates sucesivos, sin que este hecho provoque una fatiga superior en sus principales capacidades físicas.

Limitaciones de la investigación

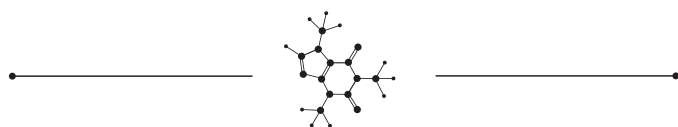
En el presente estudio la cafeína se ha mostrado ergogénica durante la realización de 2 combates simulados, con un descanso de 20 min. Sería interesante observar si 3 mg por kilo de masa corporal son suficientes para mantener los efectos percibidos a lo largo de 4 o 5 combates, simulando el contexto de una competición internacional.

Aplicaciones prácticas

La suplementación de una moderada dosis de cafeína, puede ser considerada por los entrenadores de los deportes de combate para aumentar la intensidad de los entrenamientos y el éxito en las competiciones oficiales, en las que tengan que realizar sucesivos combates con descansos limitados. Además, el uso de la cafeína mejora de forma significativa y a lo largo de varios combates, habilidades tan específicas en los deportes de agarre como la capacidad para mantener altos registros de potencia muscular en los miembros superiores, y la capacidad de los realizar contracciones máximas o submáximas con la musculatura responsable del agarre sobre el *gi*, traje o *kimono* durante periodos prolongados.

4.4.5 Conclusiones

La ingesta de 3 mg de cafeína por kg de peso corporal, aumenta la intensidad de los atletas, la producción de potencia muscular, y la resistencia específica de agarre durante dos combates simulados de BJJ. Por lo tanto, es factible concluir que la cafeína puede ser un suplemento nutricional ergogénico para ayudar a mejorar el rendimiento físico en los atletas de élite de BJJ.



5

Conclusiones



Estudio 1

No hay diferencias significativas en relación a la composición corporal entre atletas expertos y novatos de Brazilian Jiu-jitsu. Los luchadores de BJJ tienen un bajo porcentaje de grasa, parecido al que tienen otros atletas en deportes de similares características como la lucha libre olímpica y el judo.

Los atletas de BJJ con mayor experiencia, nivel de entrenamiento y pericia (expertos), consiguen adaptaciones y mejoras relacionadas con la máxima fuerza de prensión isométrica manual comparándola con otros atletas con menos tiempo de entrenamiento y experiencia (novatos). En la misma línea, los atletas expertos generan mayor potencia en los miembros inferiores que los novatos durante la realización de un test específico de rendimiento.

Estudio 2

Los datos máximos de lactato sanguíneo registrados después de una competición oficial sugieren que el uso de la vía glucolítica es más elevado que el que la literatura específica ha venido indicando.

El ratio de aclarado sanguíneo puede ser una medida importante a tener en cuenta para los atletas de BJJ, debido a que el tiempo de recuperación entre las luchas es insuficiente para que los valores de lactato en sangre retornen a los niveles basales previos a la lucha.

Después de un combate oficial, se ha encontrado fatiga muscular tanto en los miembros inferiores como en los superiores.

Estudio 3

La ingesta de 3 mg de cafeína por kg de masa corporal, aumentó la fuerza máxima dinámica e isométrica, la potencia muscular tanto en los miembros inferiores como en los superiores y la resistencia de fuerza en atletas de BJJ. Sin embargo, esta dosis no provocó efectos secundarios perjudiciales en ellos. Por lo tanto, se puede concluir que la cafeína podría ser un suplemento nutricional ergogénico para mejorar las principales manifestaciones de la fuerza que necesitan los atletas de élite en BJJ.

Estudio 4

La suplementación de una moderada dosis de cafeína, (3 mg de cafeína por kg de peso corporal), aumenta el número de acciones de alta intensidad y el tiempo de duración de las mismas, además ayuda a mantener la producción de potencia muscular y la resistencia específica del agarre durante dos combates simulados, además, este efecto ergogénico no viene acompañado por una mayor fatiga en relación al ensayo de placebo.

Perspectivas de futuro

Estudio 1

Realizar investigaciones que comparen diferentes grupos de nivel, analizando otras variables importantes para este deporte según la bibliografía específica consultada, como la potencia de los miembros superiores, o la resistencia a la fuerza específica del agarre.

Realizar una intervención con un programa de entrenamiento específico para la mejora de capacidades como la potencia, la fuerza máxima, la resistencia de fuerza en el agarre. Tratar de establecer un test o un conjunto de pruebas válidas, fiables y objetivas que permitan cuantificar los incrementos de rendimiento específicos obtenidos para el deporte en cuestión.

Estudio 2

Realizar mediciones de las variables analizadas, y considerar otras interesantes propuestas por la literatura especializada, durante 3 o más combates sucesivos, para observar cómo la fatiga acumulada afecta al rendimiento de los atletas en el transcurso de una competición.

Establecer estrategias que ayuden a paliar la fatiga encontrada tanto en el agarre, como en la potencia de los miembros inferiores.

Realizar un programa de entrenamiento que ayude a mejorar el ratio de aclarado sanguíneo entre combates.

Realizar un análisis sanguíneo después de una competición oficial, para observar los marcadores sanguíneos de daño muscular, y otros parámetros hematológicos.

Utilizar otros medios para complementar y ampliar la investigación sobre la fatiga de los atletas durante el entrenamiento y la competición, como el análisis de cortisol en saliva.

Estudio 3

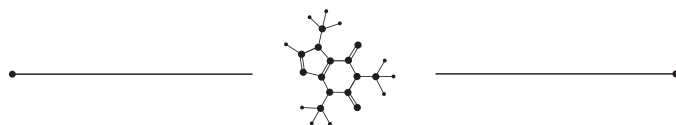
Determinar cómo estos incrementos en las manifestaciones específicas de la fuerza se pueden traducir en mejoras en el contexto de un combate real o simulado.

Realizar estudios con otras ayudas ergogénicas como la creatina o la carnitina y comprobar sus efectos en atletas de BJJ.

Estudio 4

Realizar un estudio longitudinal e individualizado de varios deportistas en una temporada de competición, para observar la adaptación del deportista a la suplementación con cafeína a largo plazo (ej. durante el transcurso de una temporada), y en tal caso, establecer diferentes dosis en función del consumo habitual de esta sustancia, de los efectos secundarios y de la mejora de rendimiento producido.

Analizar la influencia que tiene la cafeína en el proceso de toma de decisiones durante una situación de combate real o simulado.



6 Bibliografía



- Abian, P., Del Coso, J., Salinero, J. J., Gallo-Salazar, C., Areces, F., Ruiz-Vicente, D., et al. (2015). The ingestion of a caffeinated energy drink improves jump performance and activity patterns in elite badminton players. *J Sports Sci*, 33(10), 1042-1050.
- Abian-Vicen, J., Del Coso, J., Gonzalez-Millan, C., Salinero, J. J., & Abian, P. (2012). Analysis of dehydration and strength in elite badminton players. *PLoS One*, 7(5), e37821.
- Aedma, M., Timpmann, S., & Oopik, V. (2013). Effect of caffeine on upper-body anaerobic performance in wrestlers in simulated competition-day conditions. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 23(6), 601-609.
- Ahmaidi, S., Granier, P., Taoutaou, Z., Mercier, J., Dubouchaud, H., & Prefaut, C. (1996). Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 28(4), 450-456.
- Almeida, M. (2007). Frequência cardíaca e exercício: uma interpretação baseada em evidências. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 9(2), 196-202.
- Andreato, L. V., Franchini, E., de Moraes, S. M., Pastorio, J. J., da Silva, D. F., Esteves, J. V., et al. (2013). Physiological and Technical-tactical Analysis in Brazilian Jiu-jitsu Competition. *Asian J Sports Med*, 4(2), 137-143.
- Andreato, L. V., Franchini, E., Franzoi de Moraes, S. M., & Del Conti Esteves, J. V. (2012a). Morphological profile of brazilian jiu-jitsu elite athletes. *Rev Bras Med Esporte*, 18(1), 46-50.

- Andreato, L. V., Franzói de Moraes, S. M., & Esteves, J. V. (2012b). Physiological responses and rate of perceived exertion in Brazilian jiu-jitsu athletes. *Kinesiology*, 44(44), 173-181.
- Andreato, L. V., Franzói de Moraes, S. M., Lopes de Moraes Gomes, T., Del Conti Esteves, J. V., Vidal Andreato, T., & Franchini, E. (2011). Estimated aerobic power, muscular strength and flexibility in elite Brazilian Jiu-Jitsu athletes. *Science & Sports*, 26(5), 329-337.
- Andreato, L. V., Julio, U. F., Goncalves Panissa, V. L., Del Conti Esteves, J. V., Hardt, F., Franzoi de Moraes, S. M., et al. (2015). Brazilian Jiu-Jitsu Simulated Competition Part II: Physical Performance, Time-Motion, Technical-Tactical Analyses, and Perceptual Responses. *J Strength Cond Res*, 29(7), 2015-2025.
- Anselme, F., Collomp, K., Mercier, B., Ahmaidi, S., & Prefaut, C. (1992). Caffeine increases maximal anaerobic power and blood lactate concentration. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 65(2), 188-191.
- Arruza, G., Saez, R. A. H., & Valencia, J. G. (1996). Perceived exertion and heart rate: the intensity control in efforts in the judo training. *Revista de Psicología del Deporte*, 9-10, 29-40.
- Astorino, T. A., & Roberson, D. W. (2010). Efficacy of acute caffeine ingestion for short-term high-intensity exercise performance: a systematic review. *J Strength Cond Res*, 24(1), 257-265.
- Astorino, T. A., Rohmann, R. L., & Firth, K. (2008). Effect of caffeine ingestion on one-repetition maximum muscular strength. *Eur J Appl Physiol*, 102(2), 127-132.
- Báez, E., Franchini, E., Ramírez-Campillo, R., Cañas-Jamett, R., Herrera, T., Burgos-Jara, C., et al. (2014). Anthropometric Characteristics of Top-Class Brazilian Jiu Jitsu Athletes: Role of Fighting Style. *Int. J. Morphol*, 32(3), 1043-1050.
- Balsalobre-Fernández, C. (2015). *Monitorización y estudio de las relaciones entre la carga de entrenamiento, la producción de fuerza, la fatiga y el nivel de rendimiento en corredores de alto nivel*. Universidad Autónoma de Madrid.

- Bar-Or, O., Dotan, R., & Inbar, O. (1977). A 30-second all out ergometric test - its reliability and validity for anaerobic capacity. *Israel Journal of Medical Sciences*, 13.
- Bara, A. I., & Barley, E. A. (2000). Caffeine for asthma. *Cochrane Database Syst Rev*(2), CD001112.
- Bassett, D. R., Jr., & Howley, E. T. (1997). Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints. *Med Sci Sports Exerc*, 29(5), 591-603.
- Bazzucchi, I., Felici, F., Montini, M., Figura, F., & Sacchetti, M. (2011). Caffeine improves neuromuscular function during maximal dynamic exercise. *Muscle Nerve*, 43(6), 839-844.
- Beaumont, M., Batejat, D., Coste, O., Doireau, P., Chauffard, F., Enslin, M., et al. (2005). Recovery after prolonged sleep deprivation: residual effects of slow-release caffeine on recovery sleep, sleepiness and cognitive functions. *Neuropsychobiology*, 51(1), 16-27.
- Beck, T. W., Housh, T. J., Malek, M. H., Mielke, M., & Hendrix, R. (2008). The acute effects of a caffeine-containing supplement on bench press strength and time to running exhaustion. *J Strength Cond Res*, 22(5), 1654-1658.
- Beck, T. W., Housh, T. J., Schmidt, R. J., Johnson, G. O., Housh, D. J., Coburn, J. W., et al. (2006). The acute effects of a caffeine-containing supplement on strength, muscular endurance, and anaerobic capabilities. *J Strength Cond Res*, 20(3), 506-510.
- Bessa, A., Nissenbaum, M., Monteiro, A., Gandra, P. G., Nunes, L. S., Bassini-Cameron, A., et al. (2008). High-intensity ultraendurance promotes early release of muscle injury markers. *Br J Sports Med*, 42(11), 889-893.
- Bonati, M., Latini, R., Galletti, F., Young, J. F., Tognoni, G., & Garattini, S. (1982). Caffeine disposition after oral doses. *Clin Pharmacol Ther*, 32(1), 98-106.
- Bonitch-Dominguez, J. (2006). *Evolución de la fuerza muscular del tren superior en sucesivos combates de judo.*, Universidad de Granada, España.

- Bonitch-Dominguez, J., Bonitch-Gongora, J., Padial, P., & Feriche, B. (2010). Changes in peak leg power induced by successive judo bouts and their relationship to lactate production. *J Sports Sci*, 28(14), 1527-1534.
- Bonitch-Gongora, J., Almeida, F., Padial, P., Bonitch-Dominguez, J. G., & Feriche, B. (2013). Maximal isometric handgrip strength and endurance differences between elite and non-elite young judo athletes. *Arch Budo*, 9(4), 239-248.
- Bonitch-Gongora, J. G., Bonitch-Dominguez, J. G., Padial, P., & Feriche, B. (2012). The effect of lactate concentration on the handgrip strength during judo bouts. *J Strength Cond Res*, 26(7), 1863-1871.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, 14(5), 377-381.
- Borges-Junior, N. G., Domenech, S. C., & Silva, A. C. (2009). Comparative study of maximum isometric grip strength in different sports. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*, 11(3), 292-298.
- Bosco, C. (1994). *La valoración de la fuerza con el test de Bosco*. Barcelona: Paidotribo.
- Brito, C. J., Gatti, K., Atali, A. J., Costa, N. M. B., Silva, C. H. O., & Marins, J. C. B. (2005). Estudio sobre la influencia de diferentes tipos de hidratación en la fuerza y potencia de brazos y piernas de judokas. *Fitness Perform J* 4(5), 274-279.
- Brito, C. J., Souza, E. R., & Roa, F. C. M. (2009). *Prevalência de Estratégias de Rápida Redução de Massa Corporal em Lutadores de Jiu-Jítsu*. Paper presented at the Anais do XVI Congresso Brasileiro de Ciências do Esporte e III Congresso Internacional de Ciências do Esporte, Salvador de Bahía. Brasil.
- Brooks, G. A. (1986). Lactate production under fully aerobic conditions: the lactate shuttle during rest and exercise. *Fed Proc*, 45(13), 2924-2929.
- Brown, L. E., & Weir, J. P. (2001). Asep procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. *JEPonline*, 4, 1-21.

- Bruce, C. R., Anderson, M. E., Fraser, S. F., Stepto, N. K., Klein, R., Hopkins, W. G., et al. (2000). Enhancement of 2000-m rowing performance after caffeine ingestion. *Med Sci Sports Exerc*, 32(11), 1958-1963.
- Brunye, T. T., Mahoney, C. R., Lieberman, H. R., & Taylor, H. A. (2010). Caffeine modulates attention network function. *Brain Cogn*, 72(2), 181-188.
- Bürguer-Mendonça, M. (2007). Magnésio, sistema imune e exercício de ultra-endurance. *Braz J Biomotricity*, 6-12.
- Burke, L. M. (2008). Caffeine and sports performance. *Appl Physiol Nutr Metab*, 33(6), 1319-1334.
- Butt, M. S., & Sultan, M. T. (2011). Coffee and its consumption: benefits and risks. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 51(4), 363-373.
- Butts, N., & Crowell, D. (1985). Effect of Caffeine Ingestion on Cardiorespiratory Endurance in Men and Women. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56(4), 301-305.
- Cabañes, A., Salinero, J. J., & Del Coso, J. (2013). La ingestión de una bebida energética con cafeína mejora la fuerza-resistencia y el rendimiento en escalada deportiva. *Arch Med Deporte*, 30(4), 135-144.
- Cairns, S. P. (2006). Lactic acid and exercise performance : culprit or friend? *Sports Med*, 36(4), 279-291.
- Callister, R., Callister, R. J., Staron, R. S., Fleck, S. J., Tesch, P., & Dudley, G. A. (1991). Physiological characteristics of elite judo athletes. *Int J Sports Med*, 12(2), 196-203.
- Calvo Rico, B., García, J. M. G., & Monteiro, L. F. (2013). Análisis de la deshidratación en las diferentes etapas de entrenamiento en mujeres: Lucha vs Judo. *Educación y Territorio*, 3(2), 31-41.
- Carr, A., Dawson, B., Schneiker, K., Goodman, C., & Lay, B. (2008). Effect of caffeine supplementation on repeated sprint running performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 48(4), 472-478.

- Carrillo, J. A., & Benitez, J. (2000). Clinically significant pharmacokinetic interactions between dietary caffeine and medications. *Clin Pharmacokinet*, 39(2), 127-153.
- Casterlanas, J. L., & Planas, A. (1997). Estudio de la estructura temporal del combate de judo. *Apunts*, 1, 32-39.
- Casterlanas, J. L., & Solé, J. (1997). El entrenamiento de la resistencia en los deportes de lucha con agarre: Una propuesta integradora. *Apunts: Educ Fis Dep*, 1(47), 81-86.
- Cheng, W. S., Murphy, T. L., Smith, M. T., Cooksley, W. G., Halliday, J. W., & Powell, L. W. (1990). Dose-dependent pharmacokinetics of caffeine in humans: relevance as a test of quantitative liver function. *Clin Pharmacol Ther*, 47(4), 516-524.
- Clarkson, P. M., Nosaka, K., & Braun, B. (1992). Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Med Sci Sports Exerc*, 24(5), 512-520.
- Clauson, K. A., Shields, K. M., McQueen, C. E., & Persad, N. (2008). Safety issues associated with commercially available energy drinks. *J Am Pharm Assoc* (2003), 48(3), 55-63.
- Cohen, B. S., Nelson, A. G., Prevost, M. C., Thompson, G. D., Marx, B. D., & Morris, G. S. (1996). Effects of caffeine ingestion on endurance racing in heat and humidity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 73(3-4), 358-363.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ:: Lawrence Erlbaum Associates.
- Collomp, K., Ahmaidi, S., Chatard, J. C., Audran, M., & Prefaut, C. (1992). Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 64(4), 377-380.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med*, 41(2), 125-146.

- Costa, E. C., Santos, C. M., Prestes, J., Silva, J. B., & Knackfuss, M. I. (2009). Efeito agudo do alongamento estático no desempenho de força de atletas de jiu-jítsu no supino horizontal. *Fit Perf J*, 8(3), 212-217.
- Costill, D. L., Dalsky, G. P., & Fink, W. J. (1978). Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. *Med Sci Sports*, 10(3), 155-158.
- Coswig, V. S., Neves, A. H. S., & Del Vecchio, F. B. (2013). Efeitos do tempo de prática nos parâmetros bioquímicos, hormonais e hematológicos de praticantes de jiu-jitsu brasileiro. *Rev Andal Med Deporte*, 6(1), 15-21.
- D'Urzo, A. D., Jhirad, R., Jenne, H., Avendano, M. A., Rubinstein, I., D'Costa, M., et al. (1990). Effect of caffeine on ventilatory responses to hypercapnia, hypoxia, and exercise in humans. *J Appl Physiol* (1985), 68(1), 322-328.
- da Silva, B. V., Ide, B. N., de Moura Simim, M. A., Marocolo, M., & da Mota, G. R. (2014a). Neuromuscular responses to simulated brazilian jiu-jitsu fights. *J Hum Kinet*, 44, 249-257.
- da Silva, B. V., Junior, M., de Monteiro, G., Junior, L., de Moura Simim, M., Mendes, E. L., et al. (2013). Blood Lactate Response After Brazilian Jiu-Jitsu Simulated Matches. *Journal of Exercise Physiology Online*, 16(5), 63-67.
- da Silva, B. V., Marocolo Júnior, M., de Moura Simim, M. A., & Rezende, F. N. (2012). Reliability in kimono grip strength tests and comparison between elite and non-elite Brazilian Jiu-Jitsu players. *Arch Budo*, 8, 91-95.
- da Silva, B. V., Simim, M. A., Marocolo, M., Franchini, E., & da Mota, G. R. (2014b). Optimal load for the peak power and maximal strength of the upper body in Brazilian Jiu-jitsu athletes. *J Strength Cond Res*.
- Da silveira, F. (2006). El efecto de la deshidratación en el rendimiento anaeróbico. *Revista de la Ciencia del Ejercicio y la Salud*, 4(1), 13-21.
- Davis, J. K., & Green, J. M. (2009). Caffeine and anaerobic performance: ergogenic value and mechanisms of action. *Sports Med*, 39(10), 813-832.

- Davis, J. M., Zhao, Z., Stock, H. S., Mehl, K. A., Buggy, J., & Hand, G. A. (2003). Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 284(2), R399-404.
- Del Coso, J., Munoz, G., & Munoz-Guerra, J. (2011). Prevalence of caffeine use in elite athletes following its removal from the World Anti-Doping Agency list of banned substances. *Appl Physiol Nutr Metab*, 36(4), 555-561.
- Del Coso, J., Munoz-Fernandez, V. E., Munoz, G., Fernandez-Elias, V. E., Ortega, J. F., Hamouti, N., et al. (2012a). Effects of a caffeine-containing energy drink on simulated soccer performance. *PLoS One*, 7(2), e31380.
- Del Coso, J., Perez-Lopez, A., Abian-Vicen, J., Salinero, J. J., Lara, B., & Valades, D. (2014). Enhancing physical performance in male volleyball players with a caffeine-containing energy drink. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(6), 1013-1018.
- Del Coso, J., Portillo, J., Munoz, G., Abian-Vicen, J., Gonzalez-Millan, C., & Munoz-Guerra, J. (2013). Caffeine-containing energy drink improves sprint performance during an international rugby sevens competition. *Amino Acids*, 44(6), 1511-1519.
- Del Coso, J., Salinero, J. J., Gonzalez-Millan, C., Abian-Vicen, J., & Perez-Gonzalez, B. (2012b). Dose response effects of a caffeine-containing energy drink on muscle performance: a repeated measures design. *J Int Soc Sports Nutr*, 9(1), 21.
- Del Vecchio, F. B., Bianchi, S., Hirata, S. M., & Chacon-Mikamil, M. P. T. (2007). Análise morfo-funcional de praticantes de Brazilian jiu-jitsu e estudo da temporalidade e da quantificação das ações motoras na modalidade. *Movimento & Percepção*, 5(4), 263-281.
- Diaz-Lara, F. J., Del Coso, J., García, J. M., & Abian-Vicen, J. (2015). Analysis of physiological determinants during an international Brazilian Jiu-jitsu competition. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15, 489-500.

- Díaz-Lara, F. J., García, J. M. G., Monteiro, L. F., & Abian-Vicen, J. (2014). Body composition, isometric hand grip and explosive strength leg – similarities and differences between novices and experts in an international competition of Brazilian jiu jitsu. *Arch Budo*, 10, 211-217.
- Doherty, M., & Smith, P. M. (2005). Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: a meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports*, 15(2), 69-78.
- Donovan, J. L., & DeVane, C. L. (2001). A primer on caffeine pharmacology and its drug interactions in clinical psychopharmacology. *Psychopharmacol Bull*, 35(3), 30-48.
- Duncan, M. J., & Hankey, J. (2013). The effect of a caffeinated energy drink on various psychological measures during submaximal cycling. *Physiol Behav*, 116-117, 60-65.
- Duncan, M. J., & Oxford, S. W. (2011). The effect of caffeine ingestion on mood state and bench press performance to failure. *J Strength Cond Res*, 25(1), 178-185.
- Duncan, M. J., & Oxford, S. W. (2012). Acute caffeine ingestion enhances performance and dampens muscle pain following resistance exercise to failure. *J Sports Med Phys Fitness*, 52(3), 280-285.
- Duncan, M. J., Smith, M., Cook, K., & James, R. S. (2012). The acute effect of a caffeine-containing energy drink on mood state, readiness to invest effort, and resistance exercise to failure. *J Strength Cond Res*, 26(10), 2858-2865.
- Duncan, M. J., Stanley, M., Parkhouse, N., Cook, K., & Smith, M. (2013). Acute caffeine ingestion enhances strength performance and reduces perceived exertion and muscle pain perception during resistance exercise. *Eur J Sport Sci*, 13(4), 392-399.
- Ebine, K., Yoneda, I., Hase, H., & Aihara, K. (1991). Physiological characteristics of exercise and findings of laboratory test in Japanese elite judo athletes. *Med. Sport*, 3(91), 73-79.

- Eckerson, J. M., Bull, A. J., Baechle, T. R., Fischer, C. A., O'Brien, D. C., Moore, G. A., et al. (2013). Acute ingestion of sugar-free red bull energy drink has no effect on upper body strength and muscular endurance in resistance trained men. *J Strength Cond Res*, 27(8), 2248-2254.
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. (2015). Scientific Opinion on the safety of caffeine. *EFSA Journal* 13(5), 4102-4120.
- Espana-Romero, V., Ortega, F. B., Vicente-Rodriguez, G., Artero, E. G., Rey, J. P., & Ruiz, J. R. (2010). Elbow position affects handgrip strength in adolescents: validity and reliability of Jamar, DynEx, and TKK dynamometers. *J Strength Cond Res*, 24(1), 272-277.
- Falk, B., Burstein, R., Rosenblum, J., Shapiro, Y., Zylber-Katz, E., & Bashan, N. (1990). Effects of caffeine ingestion on body fluid balance and thermoregulation during exercise. *Can J Physiol Pharmacol*, 68(7), 889-892.
- Fisone, G., Borgkvist, A., & Usiello, A. (2004). Caffeine as a psychomotor stimulant: mechanism of action. *Cell Mol Life Sci*, 61(7-8), 857-872.
- Forbes, S. C., Candow, D. G., Little, J. P., Magnus, C., & Chilibeck, P. D. (2007). Effect of Red Bull energy drink on repeated Wingate cycle performance and bench-press muscle endurance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 17(5), 433-444.
- Foss, M. L., Keteyian, J., & Fox, E. L. (1998). *Fox's Physiological Basis for Exercise and Sport*. Mishawaka, IN, U.S.A: William C Brown Pub.
- Franchini, E., Artioli, G., & Brito, C. J. (2013). Judo combat: time-motion analysis and physiology. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 13(3), 624-641.
- Franchini, E., Bezerra, P. L., Oliveira, R. S. F., Souza, L. C., & Oliveira, D. L. (2005a). Blood lactate concentration, heart rate and handgrip strength during a jiu-jitsu combat. *Corpoconsciência*, 9(1), 35-44.
- Franchini, E., Miarka, B., Matheus, L., & Del Vecchio, F. B. (2011). Endurance in judogi grip strength tests: Comparison between elite and non-elite judo players. *Arch Budo*, 7(1), 1-4.

- Franchini, E., Takito, M. Y., Kiss, M. A., & Sterkowicz, S. (2005b). Physical fitness and anthropometrical differences between elite and non-elite judo players. *Biol Sport*, 22, 315-328.
- Franchini, E., Takito, M. Y., L., M., Brito Viera, D. E., & Kiss, M. A. P. D. M. (1997). Composição corporal, somatotipo e força isométrica em atletas da seleção brasileira universitária de judô. *Ambito Medicina Esportiva* 3(4), 21-29.
- Franchini, E., Takito, M. Y., & Pereira, J. (2003). Frequência cardíaca e força de preensão manual durante a luta de jiu- jitsu. *EFDeportes.com*, 9(65).
- Fredholm, B. B., Battig, K., Holmen, J., Nehlig, A., & Zvartau, E. E. (1999). Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use. *Pharmacol Rev*, 51(1), 83-133.
- Froiland, K., Koszewski, W., Hingst, J., & Kopecky, L. (2004). Nutritional supplement use among college athletes and their sources of information. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 14(1), 104-120.
- Gallo-Salazar, C., Areces, F., Abian-Vicen, J., Lara, B., Salinero, J. J., Gonzalez-Millan, C., et al. (2015). Enhancing physical performance in elite junior tennis players with a caffeinated energy drink. *Int J Sports Physiol Perform*, 10(3), 305-310.
- Ganio, M. S., Johnson, E. C., Klau, J. F., Anderson, J. M., Casa, D. J., Maresh, C. M., et al. (2011a). Effect of ambient temperature on caffeine ergogenicity during endurance exercise. *Eur J Appl Physiol*, 111(6), 1135-1146.
- Ganio, M. S., Johnson, E. C., Lopez, R. M., Stearns, R. L., Emmanuel, H., Anderson, J. M., et al. (2011b). Caffeine lowers muscle pain during exercise in hot but not cool environments. *Physiol Behav*, 102(3-4), 429-435.
- Garcia, J. M. G. (2012). *Rendimiento en Judo*. Barcelona: Onxsport.
- García, J. M. G. (2004). *Análisis diferencial entre los paradigmas experto-novatos en el contexto del alto rendimiento deportivo en Judo.*, Universidad de Castilla La Mancha., Toledo. España.

- Garcia-Pallares, J., Lopez-Gullon, J. M., Muriel, X., Diaz, A., & Izquierdo, M. (2011). Physical fitness factors to predict male Olympic wrestling performance. *Eur J Appl Physiol*, 111(8), 1747-1758.
- Giles, G. E., Mahoney, C. R., Brunye, T. T., Gardony, A. L., Taylor, H. A., & Kanarek, R. B. (2012). Differential cognitive effects of energy drink ingredients: caffeine, taurine, and glucose. *Pharmacol Biochem Behav*, 102(4), 569-577.
- Gillingham, R. L., Keefe, A. A., & Tikuisis, P. (2004). Acute caffeine intake before and after fatiguing exercise improves target shooting engagement time. *Aviat Space Environ Med*, 75(10), 865-871.
- Gladden, L. B. (2004). Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *J Physiol*, 558(Pt 1), 5-30.
- Glaister, M., Howatson, G., Abraham, C. S., Lockey, R. A., Goodwin, J. E., Foley, P., et al. (2008). Caffeine supplementation and multiple sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc*, 40(10), 1835-1840.
- Glass, G., McGaw, B., & Smith, M. (1981). *Meta-analysis in social research*. Newbury Park, CA:: Sage.
- Goldstein, E., Jacobs, P. L., Whitehurst, M., Penhollow, T., & Antonio, J. (2010). Caffeine enhances upper body strength in resistance-trained women. *J Int Soc Sports Nutr*, 7, 18.
- Gracie, R., & Gracie, C. (2000). *Brazilian Jiu-Jitsu: theory and technique. With kid Peligro*. Montpelier, Vermon: Invisible Cities Press.
- Graham, T. E. (2001). Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. *Sports Med*, 31(11), 785-807.
- Graham, T. E., Rush, J. W., & van Soeren, M. H. (1994). Caffeine and exercise: metabolism and performance. *Can J Appl Physiol*, 19(2), 111-138.
- Green, J. M., Wickwire, P. J., McLester, J. R., Gendle, S., Hudson, G., Pritchett, R. C., et al. (2007). Effects of caffeine on repetitions to failure and ratings of perceived exertion during resistance training. *Int J Sports Physiol Perform*, 2(3), 250-259.

- Greer, F., McLean, C., & Graham, T. E. (1998). Caffeine, performance, and metabolism during repeated Wingate exercise tests. *J Appl Physiol* (1985), 85(4), 1502-1508.
- Guimaraes, F. (2006). Jiu-Jitsu Brasileiro. *Atlas do esportes no Brasil*, 10, 41-44.
- Gurgel, F. (2006). *Manual de Jiu-Jítsu*. (Vol. II): Tatame.
- Hakooz, N. M. (2009). Caffeine metabolic ratios for the in vivo evaluation of CYP1A2, N-acetyltransferase 2, xanthine oxidase and CYP2A6 enzymatic activities. *Curr Drug Metab*, 10(4), 329-338.
- Haneishi, K., Fry, A. C., Moore, C. A., Schilling, B. K., Li, Y., & Fry, M. D. (2007). Cortisol and stress responses during a game and practice in female collegiate soccer players. *J Strength Cond Res*, 21(2), 583-588.
- Harland, B. F. (2000). Caffeine and nutrition. *Nutrition*, 16(7-8), 522-526.
- Haskell, C. F., Kennedy, D. O., Wesnes, K. A., & Scholey, A. B. (2005). Cognitive and mood improvements of caffeine in habitual consumers and habitual non-consumers of caffeine. *Psychopharmacology (Berl)*, 179(4), 813-825.
- Hickner, R. C., Horswill, C. A., Welker, J. M., Scott, J., Roemmich, J. N., & Costill, D. L. (1991). Test development for the study of physical performance in wrestlers following weight loss. *Int J Sports Med*, 12(6), 557-562.
- Hill, D. W., Poole, D. C., & Smith, J. C. (2002). The relationship between power and the time to achieve .VO(2max). *Med Sci Sports Exerc*, 34(4), 709-714.
- Hoffman, J. R. (2010). Caffeine, Energy Drinks, and Strength-Power Performance. *Strength Cond J*, 1(32), 15-20.
- Hogervorst, E., Bandelow, S., Schmitt, J., Jentjens, R., Oliveira, M., Allgrove, J., et al. (2008). Caffeine improves physical and cognitive performance during exhaustive exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 40(10), 1841-1851.
- Horswill, C. A., Miller, J. E., Scott, J. R., Smith, C. M., Welk, G., & Van Handel, P. (1992). Anaerobic and aerobic power in arms and legs of elite senior wrestlers. *Int J Sports Med*, 13(8), 558-561.

- Ide, B. N., & Padilha, D. A. (2005). Possíveis lesões decorrentes da aplicação das técnicas do jiu-jitsu desportivo. *Lecturas Educación Física y Deportes*, 83(10), 6.
- Iglesias, E., Clavel, I., Dopico, J., & Tuii, J. L. (2003). Efecto agudo del esfuerzo específico de judo sobre diferentes manifestaciones de la fuerza y su relación con la frecuencia cardiaca alcanzada durante el enfrentamiento. *RendimientoDeportivo.com*, 6.
- International Brazilian Jiu-Jitsu Federation. (2014). Rule Book and general competition guidelines., 2014
- Jackman, M., Wendling, P., Friars, D., & Graham, T. E. (1996). Metabolic catecholamine, and endurance responses to caffeine during intense exercise. *J Appl Physiol* (1985), 81(4), 1658-1663.
- Jang, G. R., Harris, R. Z., & Lau, D. T. (2001). Pharmacokinetics and its role in small molecule drug discovery research. *Med Res Rev*, 21(5), 382-396.
- Jones, N. B., & Ledford, E. (2012). Strength and conditioning for Brazilian Jiu-Jitsu. *National Strength and Conditioning Association*, 34(2), 60-68.
- Judelson, D. A., Maresh, C. M., Anderson, J. M., Armstrong, L. E., Casa, D. J., Kraemer, W. J., et al. (2007). Hydration and muscular performance: does fluid balance affect strength, power and high-intensity endurance? *Sports Med*, 37(10), 907-921.
- Juel, C. (1996). Lactate/proton co-transport in skeletal muscle: regulation and importance for pH homeostasis. *Acta Physiol Scand*, 156(3), 369-374.
- Júnior, E. A. P., Brito, C. J., Santos, W. O. C., Valido, C. N., Mendes, E. L., & Franchini, E. (2014). Influence of cryotherapy on muscle damage markers in jiu-jitsu fighters after competition: a cross-over study. *Rev Andal Med Deporte*, 7(1), 7-12.
- Kamimori, G. H., Karyekar, C. S., Otterstetter, R., Cox, D. S., Balkin, T. J., Belenky, G. L., et al. (2002). The rate of absorption and relative bioavailability of caffeine administered in chewing gum versus capsules to normal healthy volunteers. *Int J Pharm*, 234(1-2), 159-167.

- Kraemer, W. J., Fry, A. C., Rubin, M. R., Triplett-McBride, T., Gordon, S. E., Koziris, L. P., et al. (2001). Physiological and performance responses to tournament wrestling. *Med Sci Sports Exerc*, 33(8), 1367-1378.
- Lara, A. J., Abian, J., Alegre, L. M., & Aguado, X. (2006). Assessment of power output in jump tests for applicants to a sports sciences degree. *J Sports Med Phys Fitness*, 46(3), 419-424.
- Lara, B. (2013). *Efecto de una bebida energética con cafeína en el rendimiento de nadadores velocistas de élite*. Proyecto Final del Máster. Universidad Camilo José Cela. Madrid.
- Lara, B., Gonzalez-Millan, C., Salinero, J. J., Abian-Vicen, J., Areces, F., Barbero-Alvarez, J. C., et al. (2014). Caffeine-containing energy drink improves physical performance in female soccer players. *Amino Acids*, 46(5), 1385-1392.
- Lazarus, M., Shen, H. Y., Cherasse, Y., Qu, W. M., Huang, Z. L., Bass, C. E., et al. (2011). Arousal effect of caffeine depends on adenosine A2A receptors in the shell of the nucleus accumbens. *J Neurosci*, 31(27), 10067-10075.
- Liguori, A., Hughes, J. R., & Grass, J. A. (1997). Absorption and subjective effects of caffeine from coffee, cola and capsules. *Pharmacol Biochem Behav*, 58(3), 721-726.
- Linthorne, N. (2001). Analysis of standing vertical jump using a force platform. *Am J Phys*, 69, 1198-1204.
- Little, N. G. (1991). Physical performance attributes of Junior and Senior women, Juvenile, Junior and Senior men judokas. *J.Sports Med.Phys. Fitness*, 31, 510-520.
- Lopes-Silva, J. P., Felipe, L. J., Silva-Cavalcante, M. D., Bertuzzi, R., & Lima-Silva, A. E. (2014). Caffeine ingestion after rapid weight loss in judo athletes reduces perceived effort and increases plasma lactate concentration without improving performance. *Nutrients*, 6(7), 2931-2945.
- Lovallo, W. R., Wilson, M. F., Vincent, A. S., Sung, B. H., McKey, B. S., & Whitsett, T. L. (2004). Blood pressure response to caffeine shows incomplete tolerance after short-term regular consumption. *Hypertension*, 43(4), 760-765.

- Magkos, F., & Kavouras, S. A. (2005). Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and cellular mechanisms of action. *Critical reviews in food science and nutrition*, 45(7-8), 535-562.
- Marks, V., & Kelly, J. F. (1973). Absorption of caffeine from tea, coffee, and coca cola. *Lancet*, 1(7807), 827.
- Mazzocante, R. P., Almeida, J. A., Asano, R. Y., Morais, P. K., Castro Sousa, R. I., Pardono, E., et al. (2011). Validade do teste de corrida de 1600m em estimar o VO2max em praticantes de Jiu Jitsu. *Educação Física em Revista*, 5(2), 9.
- Monteiro, L. F. (2013). *Análisis de las Diferencias de los Indicadores de Fuerza Explosiva, Potencia y Resistencia a la Fuerza Explosiva en Judokas de Élite y Sub-élite*. UCLM, Toledo.
- Monteiro, L. F., Massuca, L. M., García García, J., Carratala, V., & Proença, J. (2011). Plyometric muscular action tests in judo- and non-judo athletes. *Isokinetics and Exercise Science*, 19, 287-293.
- Moon, J. R., Smith, A. E., Tobkin, S. E., Lockwood, C. M., Kendall, K. L., Graef, J. L., et al. (2009). Total body water changes after an exercise intervention tracked using bioimpedance spectroscopy: a deuterium oxide comparison. *Clin Nutr*, 28(5), 516-525.
- Moreira, A., Franchini, E., de Freitas, C. G., Schultz de Arruda, A. F., de Moura, N. R., Costa, E. C., et al. (2012). Salivary cortisol and immunoglobulin A responses to simulated and official Jiu-Jitsu matches. *J Strength Cond Res*, 26(8), 2185-2191.
- Moro, M. A., Lizasoain, I., & Ladero, J. M. (2003). *Xantinas*. Madrid: Panamericana.
- Mumford, G. K., Benowitz, N. L., Evans, S. M., Kaminski, B. J., Preston, K. L., Sannerud, C. A., et al. (1996). Absorption rate of methylxanthines following capsules, cola and chocolate. *Eur J Clin Pharmacol*, 51(3-4), 319-325.
- Nevill, M. E., Boobis, L. H., Brooks, S., & Williams, C. (1989). Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J Appl Physiol* (1985), 67(6), 2376-2382.

- Nilsson, J., Csergo, S., Gullstrand, L., Tveit, P., & Refsnes, P. E. (2002). Work-time profile, blood lactate concentration and rating of perceived exertion in the 1998 Greco-Roman Wrestling World Championship. *J Sports Sci*, 20(11), 939-945.
- Oliveira, M., Moreira, D., Godoy, J. R. P., & Cambraia, A. N. (2006). Avaliação da força de preensão palmar em atletas de jiu-jitsu de nível competitivo. *Revista Brasileira Ciência e Movimento*, 14(3), 63-70.
- Olson, C. A., Thornton, J. A., Adam, G. E., & Lieberman, H. R. (2010). Effects of 2 adenosine antagonists, quercetin and caffeine, on vigilance and mood. *J Clin Psychopharmacol*, 30(5), 573-578.
- Pallares, J. G., Fernandez-Elias, V. E., Ortega, J. F., Munoz, G., Munoz-Guerra, J., & Mora-Rodriguez, R. (2013). Neuromuscular responses to incremental caffeine doses: performance and side effects. *Med Sci Sports Exerc*, 45(11), 2184-2192.
- Pardo Lozano, R., Alvarez García, Y., Barral Tafalla, D., & Farré Albadelejo, M. (2007). Cafeína: un nutriente, un fármaco, o una droga de abuso. *Adicciones*, 19(3), 225-238.
- Passelergue, P., Robert, A., & Lac, G. (1995). Salivary cortisol and testosterone variations during an official and a simulated weight-lifting competition. *Int J Sports Med*, 16(5), 298-303.
- Paton, C. D., Hopkins, W. G., & Vollebregt, L. (2001). Little effect of caffeine ingestion on repeated sprints in team-sport athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 33(5), 822-825.
- Paton, C. D., Lowe, T., & Irvine, A. (2010). Caffeinated chewing gum increases repeated sprint performance and augments increases in testosterone in competitive cyclists. *Eur J Appl Physiol*, 110(6), 1243-1250.
- Pereira, R. F., Lopes, C. R., Dechechi, C. J., Silva, B. V. C., Ide, B. N., & Navarro, A. C. (2011). Cinética de remoção de lactato em atletas de Brazilian Jiu-jitsu. *Rev Bras Prescr Fisiol Exerc*, 5(25), 34-44.

- Perkins, R., & Williams, M. H. (1975). Effect of caffeine upon maximal muscular endurance of females. *Med Sci Sports*, 7(3), 221-224.
- Pontifex, K. J., Wallman, K. E., Dawson, B. T., & Goodman, C. (2010). Effects of caffeine on repeated sprint ability, reactive agility time, sleep and next day performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 50(4), 455-464.
- Popadic Gacesa, J. Z., Barak, O. F., & Grujic, N. G. (2009). Maximal anaerobic power test in athletes of different sport disciplines. *J Strength Cond Res*, 23(3), 751-755.
- Powers, S. C., & Howley, E. T. (2014). *Fisiología del Ejercicio. Teoría y aplicación a la forma física y al rendimiento*. Mexico: Paidotribo.
- Pruscino, C. L., Ross, M. L., Gregory, J. R., Savage, B., & Flanagan, T. R. (2008). Effects of sodium bicarbonate, caffeine, and their combination on repeated 200-m freestyle performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 18(2), 116-130.
- Quinlivan, A., Irwin, C., Grant, G. D., Anoopkumar-Dukie, S., Skinner, T., Leveritt, M., et al. (2015). The Effects of Red Bull(R) Energy Drink Compared With Caffeine on Cycling Time Trial Performance. *Int J Sports Physiol Perform*.
- Ratamess, N. A. (1998). Weight training for jiu jitsu. *Strength Cond J*, 20(5), 8-15.
- Ratamess, N. A. (2011). Strength and conditioning for grappling sports. *Strength Cond J* 33(9), 35-44.
- Reb Bull, C. (2015). <http://energydrink-es.redbull.com/empresa> Retrieved 15 Junio, 2015
- Rigatto, P. C. (2008). *Efeito do treinamento de potência muscular sobre o aprimoramento do perfil metabólico e do rendimento no "randori" em praticantes de Jiu-Jitsu*. TCC. Educação Física, Universidade Estadual Paulista, 2008.
- Robergs, R. A., Ghiasvand, F., & Parker, D. (2004). Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 287(3), R502-516.

- Roelands, B., Buyse, L., Pauwels, F., Delbeke, F., Deventer, K., & Meeusen, R. (2011). No effect of caffeine on exercise performance in high ambient temperature. *Eur J Appl Physiol*, 111(12), 3089-3095.
- Sa, M. A., Neto, G. R., Costa, P. B., Gomes, T. M., Bentes, C. M., Brown, A. F., et al. (2015). Acute effects of different stretching techniques on the number of repetitions in a single lower body resistance training session. *J Hum Kinet*, 45, 177-185.
- Sahlin, K. (1992). Metabolic factors in fatigue. *Sports Med*, 13(2), 99-107.
- Salinero, J. J., Lara, B., Abian-Vicen, J., Gonzalez-Millan, C., Areces, F., Gallo-Salazar, C., et al. (2014). The use of energy drinks in sport: perceived ergogenicity and side effects in male and female athletes. *Br J Nutr*, 112(9), 1494-1502.
- Santos, V. G., Santos, V. R., Felipe, L. J., Almeida, J. W., Jr., Bertuzzi, R., Kiss, M. A., et al. (2014). Caffeine reduces reaction time and improves performance in simulated-contest of taekwondo. *Nutrients*, 6(2), 637-649.
- Santos, W. O. C., Brito, C. J., Júnior, E. A. P., Valido, C. N., Mendes, E. L., Nunes, M. A. P., et al. (2012). Cryotherapy post-training reduces muscle damage markers in jiu-jitsu fighters. *J Human Exerc Sports*, 7(6), 629-638.
- Sawyer, D. A., Julia, H. L., & Turin, A. C. (1982). Caffeine and human behavior: arousal, anxiety, and performance effects. *J Behav Med*, 5(4), 415-439.
- Schneiker, K. T., Bishop, D., Dawson, B., & Hackett, L. P. (2006). Effects of caffeine on prolonged intermittent-sprint ability in team-sport athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 38(3), 578-585.
- Segura-Orti, E., & Martinez-Olmos, F. J. (2011). Test-retest reliability and minimal detectable change scores for sit-to-sit test, the six-minute walk test, the one leg heel-rise test, and handgrip strenght in people undergoing hemodialysis. *Phys Ther*, 91, 1244-1252.
- Seifert, S. M., Schaechter, J. L., Hershorin, E. R., & Lipshultz, S. E. (2011). Health effects of energy drinks on children, adolescents, and young adults. *Pediatrics*, 127(3), 511-528.

- Shyamal Koley, M. K. Y. (2009). An association of hand grip strength with some anthropometric variables in Indian cricket players. *Physical Education and Sport*, 7(2), 113-123.
- Silva, A. M., Fields, D. A., Heymsfield, S. B., & Sardinha, L. B. (2010). Body composition and power changes in elite judo athletes. *Int J Sports Med*, 31(10), 737-741.
- Silva Neto, A., & Dechechi, C. J. (2010). Efeito de treinamento de resistência anaeróbica específico para atletas de jiu- jitsu quanto à força de prensao manual e potência muscular. *Revista Hórus*, 4(2), 188-207.
- Silva, V. S., Souza, I., & Camões, J. C. (2004). Influência da prática do jiu-jitsu na flexibilidade tóraco-lombar e quadril. *Fiep Bulletin.*, 74.
- Souissi, M., Abdelmalek, S., Chtourou, H., Atheymen, R., Hakim, A., & Sahnoun, Z. (2012). Effects of morning caffeine' ingestion on mood States, simple reaction time, and short-term maximal performance on elite judoists. *Asian J Sports Med*, 3(3), 161-168.
- Souissi, M., Abdelmalek, S., Chtourou, H., Boussita, A., Hakim, A., & Sahnoun, Z. (2013). Effects of time-of-day and caffeine ingestion on mood states, simple reaction time, and short-term maximal performance in elite judoists. *Biological Rhythm Research*, 44(6), 897-907.
- Souissi, M., Aloui, A., Chtourou, H., Aouicha, H. B., Atheymen, R., & Sahnoun, Z. (2014). Caffeine ingestion does not affect afternoon muscle power and fatigue during the Wingate test in elite judo players. *Biological Rhythm Research*, 46(2), 291-298.
- Souza, I., Silva, V. S., & Camões, J. C. (2005). Flexibilidade tóraco- lombar e de quadril em atletas de jiu-jitsu. <http://www.efdeportes.com>, 10(82).
- Spriet, L. L. (2014). Exercise and sport performance with low doses of caffeine. *Sports Med*, 44 Suppl 2, S175-184.
- Steen, S. N., & Brownell, K. D. (1990). Patterns of weight loss and regain in wrestlers: has the tradition changed? *Med Sci Sports Exerc*, 22(6), 762-768.

- Stuart, G. R., Hopkins, W. G., Cook, C., & Cairns, S. P. (2005). Multiple effects of caffeine on simulated high-intensity team-sport performance. *Med Sci Sports Exerc*, 37(11), 1998-2005.
- Sugawara, J., Murakami, H., Maeda, S., Kuno, S., & Matsuda, M. (2001). Change in post-exercise vagal reactivation with exercise training and detraining in young men. *Eur J Appl Physiol*, 85(3-4), 259-263.
- Szmuchowski, L. A., Rodrigues, S. A., Fontes Corgosinho, R. F., & Pinheiro, G. S. (2013). Correlation between the performance in the Special Judo Fitness Test and the Wingate Anaerobic Test. *Arch Budo*, 3, 175-179.
- Taylor, A. W., & Brassard, L. (1981). A physiological profile of the Canadian judo team. *J Sports Med Phys Fitness*, 21(2), 160-164.
- Thomas, S. G., Cox, M. H., LeGal, Y. M., Verde, T. J., & Smith, H. K. (1989). Physiological profiles of the Canadian National Judo Team. *Can J Sport Sci*, 14(3), 142-147.
- Tricoli, V., Lamas, L., Carnevale, R., & Ugrinowitsch, C. (2005). Short-term effects on lower-body functional power development: weightlifting vs. vertical jump training programs. *J Strength Cond Res*, 19(2), 433-437.
- Van Thuyne, W., Roels, K., & Delbeke, F. T. (2005). Distribution of caffeine levels in urine in different sports in relation to doping control. *Int J Sports Med*, 26(9), 714-718.
- Vidal Andreato, L., Franchini, E., Franzoi de Moraes, S. M., Del Conti Esteves, J. V., Jacques Pastorio, J., Vidal Andreato, T., et al. (2012). Morphological Profile of Brazilian Jiu-Jitsu athletes. *Rev Bras Med Esporte*, 18(1).
- Villamil, M. I. (2009). *El artículo científico*. <http://cai.bc.inter.edu/art.cientifico.pdf>.
- Villamon, M. (1997). *Aproximación histórico-filosófica a las raíces del Judo* Paper presented at the El judo y las ciencias de la educación física y el deporte., Vitoria.
- Viru, A., & Viru, M. (2001). *Biochemical monitoring of sport training*. Canada: Human Kinetics.

- Voelzke, M., Stutzig, N., Thorhauer, H. A., & Granacher, U. (2012). Promoting lower extremity strength in elite volleyball players: effects of two combined training methods. *J Sci Med Sport*, 15(5), 457-462.
- WADA. (2015). The world anti-doping code Retrieved 15 Mayo, 2015
- Walker, S., Siddiqi, T., & Admusen, L. (2002). *Measurement of hand grip fatigue*. Paper presented at the Proceedings of the Annual Conference of the American Physical Therapy Association (APTA). <http://apps.apta.org/Custom/abstracts/pt2002/Abs02AuthIndex.cfm>. Acceso Abril 2013
- Warren, G. L., Park, N. D., Maresca, R. D., McKibans, K. I., & Millard-Stafford, M. L. (2010). Effect of caffeine ingestion on muscular strength and endurance: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 42(7), 1375-1387.
- Weinfeld, H., & Christman, A. A. (1953). The metabolism of caffeine and theophylline. *J Biol Chem*, 200(1), 345-355.
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2005). *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Barcelona: Paidotribo.
- Womack, C. J., Saunders, M. J., Bechtel, M. K., Bolton, D. J., Martin, M., Luden, N. D., et al. (2012). The influence of a CYP1A2 polymorphism on the ergogenic effects of caffeine. *J Int Soc Sports Nutr*, 9(1), 7.
- Yamaji, S., Demura, S., Nagasawa, Y., & Nakada, M. (2006). The influence of different target values and measurement times on the decreasing force curve during sustained static gripping work. *Journal of Physiological Anthropology*, 25, 23-28.
- Zaggelidis, G., Lazaridis, S. N., Malkogiorgos, A., & Mavrovouniotis, F. (2012). Differences in vertical jumping performance between untrained males and advanced Greek judokas. *Arch Budo*, 8(2), 87-90.

7 Anexos



ANEXO 1. DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INDIVIDUAL



DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INDIVIDUAL

Título del Proyecto: Utilización de cafeína, relacionándola con pruebas de rendimiento a atletas de Brazilian Jiu Jitsu.

D./Dña , con fecha de nacimiento: y con DNI nº , manifiesta que ha sido convenientemente informado por el investigador responsable del proyecto, Fco Javier Díaz Lara, quien le ha explicado las actividades que se van a realizar y ha resuelto todas sus dudas, por lo que afirma que es conocedor de lo que su participación supone, incluyendo todos los beneficios y riesgos que podría suponer su participación en este estudio, que son los siguientes:

El beneficio derivado de tu participación será:

- A nivel individual la posibilidad de obtener información sobre tu rendimiento deportivo con la ingesta o no de cafeína, además de otro tipo de información vital para el rendimiento en competición como es la potencia de brazos y piernas, capacidad de recuperación frente a un combate a través de un análisis de lactato y resistencia en un test de agarre, en una modalidad de lucha como es el Brazilian Jiu-jitsu.
- A nivel social, la obtención de información muy útil para establecer el efecto que tiene la cafeína en el rendimiento deportivo en una modalidad de lucha como es el Brazilian Jiu-jitsu.

Los riesgos derivados de tu participación se limitan a:

- Posibles reacciones adversas a la suplementación, así como los efectos conocidos de la cafeína, entre los que pueden incluirse una mayor activación, dificultad para conciliar el sueño y problemas gastrointestinales, dependiendo de tu familiarización a esta sustancia.
- Posibilidad de lesión en la realización de las pruebas, por algún accidente que pudiese acontecer en la realización de las mismas, los cuales se minimizarán al máximo, estableciendo un calentamiento dirigido y realizando las mismas con las mayores medidas de seguridad posible.

Afirma, igualmente que ha sido también informado de que sus datos personales serán protegidos e incluidos en un fichero que deberá estar sometido a y con las garantías de la ley 15/1999 de 13 de diciembre.

Por ello, su firma en el presente documento significa que participa voluntariamente en los procedimientos experimentales explicados en la hoja informativa y que **OTORGA su CONSENTIMIENTO para el uso de sus datos y muestras obtenidas, con el único fin de cubrir los objetivos especificados del presente estudio.**

Madrid a 25 de octubre de 2014.

Fdo. D.

ANEXO 2. CUESTIONARIO DE PERCEPCIÓN DE ESFUERZO Y



DURANTE EL COMBATE	
	Valora tu percepción de fuerza/velocidad durante los combates
	Valora tu percepción de resistencia durante los combates
	Valora tu percepción de fatiga durante los combates
	¿Has sentido algún efecto diferente durante los combates? Describe
	¿Te han gustado/servido los efectos que has sentido?

A LA MAÑANA SIGUIENTE	
	Indica tu estado de fatiga
	Valora tu estado de nerviosismo
	¿Has tenido dificultad para dormir?
	¿Has tenido algún problema estomacal?
	¿Te encuentras más energético que de costumbre?
	¿Te notas irritable?
	¿Has notado dolor muscular o rigidez?
	¿Sientes o has sentido dolor de cabeza?

Participante:

A		SI	NO
	¿Has sentido algún problema estomacal?		
	¿Has tenido dificultad para dormir?		
	¿Has notado un incremento en la producción de orina?		
	¿Has sentido palpitos o taquicardia?		
	¿Tienes dolor muscular o rigidez?		
	¿Te encuentras más enérgico que de costumbre?		
	¿Te notas irritable?		
	¿Te sientes más despierto o activo?		
¿Sientes dolor de cabeza?			

B		SI	NO
	¿Has sentido algún problema estomacal?		
	¿Has tenido dificultad para dormir?		
	¿Has notado un incremento en la producción de orina?		
	¿Has sentido palpitos o taquicardia?		
	¿Tienes dolor muscular o rigidez?		
	¿Te encuentras más enérgico que de costumbre?		
	¿Te notas irritable?		
	¿Te sientes más despierto o activo?		
¿Sientes dolor de cabeza?			

B		SI	NO
	¿Has sentido algún problema estomacal?		
	¿Has tenido dificultad para dormir?		
	¿Has notado un incremento en la producción de orina?		
	¿Has sentido palpitos o taquicardia?		
	¿Tienes dolor muscular o rigidez?		
	¿Te encuentras más enérgico que de costumbre?		
	¿Te notas irritable?		
	¿Te sientes más despierto o activo?		
¿Sientes dolor de cabeza?			

ANEXO 3. PAPER 1

Díaz-Lara, F. J., García, J. M. G., Monteiro, L. F., & Abian-Vicen, J. (2014). Body composition, isometric hand grip and explosive strength leg – similarities and differences between novices and experts in an international competition of Brazilian jiu jitsu. *Archives of Budo*, 10, 211-217.

Body composition, isometric hand grip and explosive strength leg – similarities and differences between novices and experts in an international competition of Brazilian jiu jitsu

Authors' Contribution:

- A Study Design
- B Data Collection
- C Statistical Analysis
- D Manuscript Preparation
- E Funds Collection

Francisco Javier Diaz-Lara^{1ABCDE}, José Manuel García García^{1ACDE}, Luis Fernandes Monteiro^{2ABD}, Javier Abian-Vicen^{1ABCD}

¹ Sport Training Laboratory, Faculty of Sport Sciences, University of Castilla La Mancha, Spain

² Faculty of Physical Education and Sports, Lusófona University, Lisbon, Portugal

Source of support: Departmental sources

Received: 4 July 2014; **Accepted:** 18 August 2014; **Published online:** 31 August 2014

ICID: 1121905

Abstract

Background & Study Aim: Brazilian jiu jitsu (BJJ) is gaining thousands of practitioners in all countries; however, there is a lack of scientific research related to this sport. We wanted to establish the indicators approached by BJJ athletes to sporting excellence, which is the reason why we divided the subjects into two groups: experts and novices. Additionally, the aim of this study was to knowledge about the body composition, and similarities and differences in the performance of BJJ athletes focusing on two variables: isometric hand grip and explosive strength leg.

Material & Methods: Fifty six BJJ players, who were contestants in the European Open Jiu-Jitsu Championship 2013 in Lisbon (Portugal), took part in this study. Novice group (n=24; age: 29.9±5.8 yrs), Expert group (n=32; age: 30.5±4.7 yrs). Body mass was measured with Bioimpedance, and handgrip strength was measured with a dynamometer. Explosive strength leg was measured from a force platform with the Countermovement Jump (CMJ) test. Differences between experts and novices were established with the t Student's test or Mann-Whitney U test for the parametric and non-parametric variables respectively.

Results: Experts obtained significant differences over novices on isometric hand grip strength in both hands; as for the variables of CMJ, significant differences were found in Height of jump, peak power, velocity at peak power and average power.

Conclusions: BJJ athletes with higher experience, training, and level (expert group) have more adaptations and improvements than the novice group. This can be seen by their higher records in isometric handgrip and the higher explosive strength in their legs.

Keywords: art of defence · combat sports · Countermovement Jump · force platform · sport performance

Author's address: Javier Abian-Vicen, University of Castilla-La Mancha, Avda. Carlos III s/n. Toledo, 45071 Spain; e-mail: javier.abian@uclm.es

Brazilian Jiu Jitsu – is a type of fight in which a uniform or *gi* is used; its main purpose is to project or take your opponent down. Once on the ground, you must seek to control your adversary with different techniques (immobilizations, chokes, joints locks). In the absence of submission at the end of the fight, the winner is declared by the number of points won [3]

Hand grip strength – is the result of the maximum force that each individual is able to exert under normal mechanic conditions through the voluntary flexion of all finger joints, thumbs, and wrists [9]

Countermovement Jump (CMJ) – is a test of physical performance, which is a dynamic weight bearing movement skill that utilizes multiple muscles and joints of the lower limbs [14]

INTRODUCTION

The Ju-jitsu is believed to have its roots in India. Buddhist monks, who were concerned for their own defence, developed techniques based on the principles of balance, body knowledge, their joint limits, and avoiding the use of arms. This art of defence, together with Buddhism, travelled across Asia, reaching Japan. Once there, it was modified by adapting it to the needs of these people and was called ju-jitsu. In 1914, this Japanese art arrived in Brazil thanks to the teacher Mitsuyo Maeda (Conde Koma), expert in judo and ju-jitsu. He taught Carlos Gracie the techniques he had learned in Japan. Helio Gracie, Carlos's brother, learned this type of fight and modified its techniques, adapting them to their slim and small bio-type, with the aim of making it become as effective and efficient as possible. These two brothers created and promoted what is currently known as Brazilian Jiu-Jitsu (BJJ) [1, 2].

Nowadays, sports BJJ is a type of fight in which a uniform or *gi* is used; its main purpose is to project or take your opponent down. Once on the ground, you must seek to control your adversary with different techniques (immobilizations, chokes, joints locks). In the absence of submission at the end of the fight, the winner is declared by the number of points won [3]. Despite BJJ is currently getting thousands of fans and practitioners worldwide, only a few scientific studies are trying to understand the physiological and condition demands required by this sport [4-6].

There are many studies that have used the novice-expert paradigm in different sports since the 1970s. If we focus on combat sports, we can find an investigation by García et al. [7] in judokas. These authors compare different levels of judokas, thanks to some performance tests done to these athletes (maximal isometric strength, VO_2 max. etc.). The purposes were to find nonspecific conditional values that do not have any direct impact in competition, and to delimit the important indicators approached by athletes to sporting excellence.

Body composition is an essential component for the control and definition of the weight categories in combat sports modalities. BJJ athletes have a predominantly mesomorphic component, low fat percentages similar to other combat sports such as wrestling and judo [3, 8].

The hand grip strength is the result of the maximum force that each individual is able to exert under normal mechanic conditions through the voluntary

flexion of all finger joints, thumbs, and wrists [9]. In many sports, it is common to get information about more useful strategies to develop specific training protocols and increase the strength of athletes' hands to prevent injuries due to their sports practice [10, 11]. If we focus on a BJJ fight, the athlete is in contact with the opponent most of the time. During this period of combat, the athlete needs to perform successful grip movements to maintain this grip, to control the opponent or so as to perform new ways of attack, defence, counter-attacks etc. [12]. Then, static and dynamic strength grip, and gripping endurance are vital to competitive success [13].

Countermovement Jump (CMJ), is a test of physical performance, which is a dynamic weight bearing movement skill that utilizes multiple muscles and joints of the lower limbs [14]. It would be interesting to evaluate the explosive movements like CMJ, due to the high-intensity actions performed in BJJ we predominantly short (less than 3 s). Consequently, muscle power exercises should be included in physical training, since the decisive moments of the fight (scores and submissions) require explosive muscle power actions [15]. Moreover, the explosive force manifestation results from the combination of the contractile capacity, that is understood as the concentric action of the agonist muscles without use of the stretch shortening cycle and the capacity to synchronize muscle fibre contraction [16, 17].

The aim of this study was to knowledge about the body composition, and similarities and differences in the performance of BJJ athletes focusing on two variables: isometric hand grip and explosive strength leg.

MATERIAL AND METHODS

Subjects

Fifty-six athletes of BJJ, participants of the European Open Jiu-Jitsu Championship 2013 in Lisbon (Portugal) from 16 different countries, took part voluntarily in this study. They were divided into two groups, novices and experts. The criteria used to divide the groups in our investigation were the experience and level of training at this discipline. Considering experts those who had been more than 4 years training BJJ and had a graduation from purple to black belt; whereas novices were those who had been training for less than 4 years and were graduates from white to blue belt. The novice group consisted of 24 athletes (16 blue belts and 8 white belts). The expert group was formed by 32 athletes (17 black belts, 7 brown belts and 8 purple belts) (Table 1). A

participants were informed about the nature and the purpose of this study, as well as the measurements which were going to be taken. After that, participants signed a consent form to allow the researchers to take the measurements and use their data for scientific purposes. The study was approved by the local Research Ethics Committee in accordance with the latest version of the Declaration of Helsinki [18].

Protocols

The European Open Championship 2013 (IBJJF) was celebrated in Casal Vistoso Pavillion (Lisbon, Portugal). The organization provided us a room near the mat to complete all the tests before the competition started. On arrival, the participants got familiar with the measuring instruments corresponding to the maximum intensity tests (counter movement jump and hand grip strength), signed the informed consent document and filled out another one on information regarding their years of practice, hours of training per week, best result obtained in competition that year, years of practice in BJJ and dominant hand. Then, height (SECA Ltd, Germany with a sensitivity of ± 0.1 cm), body mass (Radwag, Poland with a sensitivity of ± 0.05 kg scale) and body composition with Bioimpedance (BC-418. Tanita Corp, Japan), were measured using established standards to calculate the body fat and the body muscle composition of each subject [19]. All subjects finished all the tests before their first fight and after a specific warm-up of 20 minutes. In the hand grip strength test, the subjects had to grip a manual dynamometer (Takei Scientific Instruments Co, Japan) as hard as possible. Two attempts were made with the elbow extended, the arm parallel to the body and the wrist in neutral position according to the indications of several authors [20-22]. There was a 1 minute break between both attempts and the highest value was chosen for the analysis. In the CMJ test, the participants jumped on a Quattro Jump force platform (Kistler, Switzerland) with their hands on the waist at all times. The angle of knee flexion during the CMJ was freely chosen by the each subject. The highest jump achieved out of three valid attempts with a 1 min rest between them was chosen for the analysis. For the jump test, a leg maximum power output during the jump was determined from ground reaction forces (F). For this calculation, we set the initial vertical velocity of the system at zero. Vertical ground reaction forces were recorded at 500 Hz and were divided by the mass of the system at each time point in order to determine instantaneous acceleration ($a_{inst} = F_{inst} / \text{mass}$). Gravity acceleration was subtracted from the calculated acceleration to ensure that only the acceleration

produced by the participants during the jump was used to determine velocity. The instantaneous vertical velocity (v_{inst}) was integrated from the acceleration. The integration constant was zero because there was no initial movement. Instantaneous power (P_{inst}) was calculated as the product of the velocity and force ($P = F_{inst} \times V_{inst}$) at any given point. The power average from the impulse phase (concentric part of the jump) was used for the statistical analysis. Jump height was determined by the flight time. The flight time is the difference between the first instant of take-off and the first instant of landing, we assume the height of the jumper's centre of mass at the instant of landing is the same as at the instant of take-off, and we used the equation to calculate the jump height proposed by Linthorne [23]. The height of the centre of gravity was calculated by the double integration method (work-energy) of the force-time record based on Linthorne [23]. In total, we evaluated 8 different variables: Jump height (H) calculated from the flight time measured in cm; Position of the centre of gravity at the highest point in the flight phase (Hf) measured in cm; Peak power during the push-off phase normalized for the mass of the player (PP) measured in W/kg; Velocity at peak power (V_{pp}) measured in m/s; Force at peak power (F_{pp}) measured in N; Average Power (AP) measured in W/kg; Vertical path of the centre of gravity between the instants of take-off and first time of the landing (Lr) measured in cm; Second peak vertical force in landing (F2) measured in BW.

Statistical analysis

The SPSS v. 19 program (SPSS Inc., USA) was used to perform the statistical calculations with descriptive and inferential statistical tests. Initially, normality was tested in all variables with the Shapiro-Wilk test. After that, the t Student's test for independent samples was used to establish the differences in the normally distributed variables between groups (experts and novices). For the non-parametric variables differences between experts and novices were established with the Mann-Whitney U test. The criterion for statistical significance was set at $p < 0.05$. All the data are presented as mean \pm standard deviation.

RESULTS

Regarding the characteristics of the subjects, similar results were observed in most variables (age, weight, height, body mass), but significant differences ($p \leq 0.01$) were observed between experts and novices in relation to years of experience and training (hours per week) (Table 1).

Table 1. Characteristics of novices and experts Brazilian Jiu-Jitsu athletes

Variables	Novice (n = 24)	Expert (n = 32)	Δ (%)	P value	Effect Size
Age (years)	29.9 \pm 5.8	30.5 \pm 4.7	1.95	0.341	0.1
Weight (kg)	75.7 \pm 9.3	77.4 \pm 11.3	2.2	0.276	0.2
Height (cm)	177.1 \pm 5.8	175.6 \pm 6.6	-0.8	0.187	-0.2
Body Mass (kg)	69.4 \pm 6.9	70.6 \pm 9.7	1.7	0.307	0.1
% Fat	9.3 \pm 3.7	9.1 \pm 4.6	-2.1	0.432	-0.0
Experience (years)	3 \pm 1.1	9.5 \pm 4.6	217.2	0.000*	2.2
Training (hours per week)	9.4 \pm 2.6	13.1 \pm 3.8	39.3	0.000*	1.1

* Differences at $p < 0.05$

Experts obtained higher values in isometric hand grip strength than novices. Significant differences ($p \leq 0.0$) were found both in right and left hand (Table 2).

Table 2. Isometric strength grip Brazilian Jiu-Jitsu athletes

Variables	Novice (n = 24)	Expert (n = 32)	Δ (%)	P value	Effect Size
Left hand grip (kgf)	43.3 \pm 6.6	49.1 \pm 7.0	13.4	0.001*	0.8
Right hand grip (kgf)	43.6 \pm 7.1	48.6 \pm 6.1	11.4	0.004*	0.7

* Differences at $p < 0.05$

In relation to the variables of (CMJ), significant differences were found between experts and novices in height of jump; position of the centre of gravity at the highest point in the flight phase; peak power; velocity at the peak power; average power and a greater tendency was found in the expert group for vertical path of the centre of gravity. However, no significant differences were observed in force at the moment when the PP was reached (Table 3).

Table 3. Variables Countermovement Jump Brazilian Jiu-Jitsu athletes

Indicators	Novice (n = 24)	Expert (n = 29)	% Dif.	P value	Effect Size
H (cm)	29.7 \pm 5.0	34.2 \pm 5.1	15.2	0.002*	0.9
Hf (cm)	39.2 \pm 4.5	44.6 \pm 4.8	13.8	0.000*	1.1
PP (W \times kg ⁻¹)	45.2 \pm 4.9	51.6 \pm 7.6	14.0	0.001*	1.0
Vpp (m s ⁻¹)	2.3 \pm 0.2	2.4 \pm 0.2	7.1	0.001*	0.9
Fpp (N)	1534.1 \pm 234.3	1575.8 \pm 221.9	2.7	0.512	0.2
AP (W/kg)	23.8 \pm 3.5	26.9 \pm 4.9	13.1	0.014*	0.7
Lr (cm)	-13.5 \pm 7.8	-18.1 \pm 8.7	33.3	0.056	-0.5
F2 (BW)	5.4 \pm 2.0	4.9 \pm 1.8	-10.0	0.318	-0.3

* Differences at $p < 0.05$; H= Height of jump from flight time; Hf = position of the centre of gravity at the highest point in the flight phase; PP = peak power; V_{pp} = velocity of the centre of gravity at which PP was reached; F_{pp} = force at the instant which PP was reached; AP= Power average during the jump; Lr= vertical path of the center of gravity between the instants of take-off landing; F2 = second peak vertical force during landing.

DISCUSSION

Analysing the characteristics of the sample, regarding to body composition (Table 1), as we mentioned before, there are no differences observed in body composition between our experts and novices. In the bibliography, there are two studies that analyse body composition of BJJ fighters. The results of our study are lower than those found by Del Vecchio et al. [3] (9.8 ± 4.2 kg) and Andreato et al. [8] (10.3 ± 2.6 kg). This may be due to the moment of the sports season, in our study athletes were measured just before they had their first combat in an international championship, with everything it entails (competition period, weight adjusted to the maximum in their category, etc.), whereas the other two studies were carried out one during the first preparatory period and the other investigation period is not recorded.

Experts, novices and hand grip strength

Our results may suggest that athletes with some degree of experience, expertise and continuous training in BJJ developed adaptations and improvements related to the isometric handgrip strength. We found significant differences between experts and novices in both hands (right, $p = 0.004$ and left, $p = 0.001$). We have only found three studies in the bibliography in which BJJ expert athletes are compared to lower-level athletes. Borges-Junior et al. [11], analysed the handgrip in 29 men athletes practicing aikido, judo, rowing, BJJ and non-athletes. In this research, only significant differences between BJJ athletes and aikido athletes, and BJJ athletes and non-athletes were found. Oliveira et al. [12], compared 21 athletes graduated as black and brown belts, with 29 graduates from blue to purple belts, these authors finds no significant differences in relation to hand grip strength. While data from their experts are similar, these novices have better results than ours, it may be because their novices have twice as many years of experience (5.8 ± 1.5) [12] versus (3.0 ± 1.1 years) the ones in our study. Although, these authors found no significant differences, they obtained higher values for their expert group (black and brown belts) compared to their non-expert group. Nonetheless, the same authors did find significant differences between BJJ athletes and non-athletes (other 50 subjects were used as a control group) for the left hand. Finally, Corrêa da Silva et al. [24] performed a study with 20 BJJ athletes, we found many parallels with our research. Firstly, in this study, there are differences between elite and non-elite athletes. Secondly, the criterion of differentiation between both groups is

very similar to the one we have established in our research. However, these authors did not measure hand grip strength with a dynamometer because they carried out two specific tests of hand grip. The last similarity between both studies is that these authors also found significant differences between elite and non-elite BJJ athletes.

If we analyse our data of isometric handgrip strength, novices (LHG= 43.3 ± 6.6 kgf; RHG= 43.6 ± 7.1 kgf) and experts (LHG= 49.1 ± 7.0 kgf; RHG= 48.6 ± 6.1 kgf) and compare them with the bibliography, the data obtained from our experts and novices are higher than those obtained by BJJ elite athletes by Andreato et al. [6]. If we only compare the data recorded from our experts, they are above those obtained by BJJ adult athletes in Andreato et al. [15], close to those obtained by BJJ brown and black belts in Oliveira et al. [12], as above mentioned, and lower than those obtained by Franchini et al. [4, 25] in BJJ black belts and BJJ athletes respectively. Moreover, when compared to other similar sports, which have been researched, like judo, the data of both our experts and novices would be close to the data obtained by Franchini et al. [26] from Brazilian national judo. If we only focus on the data from our experts and compare them with judokas, our data are clearly below the senior judokas in Little [27] and the Canadian judo team in Thomas et al. [28].

Most authors who have studied hand grip strength in BJJ have concluded that athletes of this sport do not have high hand grip strength results [4, 6, 12, 15], we agree with this statement, especially if we compare data with high level judokas. However, observing our results, we think that it is very important that BJJ athletes reach minimum values, necessary to compete effectively in high level of this sport. Some authors suggested that the percentage of grip strength loss could be related to the corresponding initial maximum isometric strength [29, 30]. Bonitch-Gongora et al. [31] are in the same line in their study done with judokas elite and non-elite, their findings suggest that elite judokas are able to develop higher levels of handgrip strength and they also have better strategies to resist successive contractions. Therefore, we can state that having high maximum hand grip strength may be necessary to improve gripping endurance. There is a consensus in the specific bibliography about the importance of this ability (gripping endurance) [4-6, 12, 15], since the more continuous grip actions performed in BJJ, require the higher resistance in maintaining constant levels of force over a longer period of time.

Experts, novices and explosive force

Vertical jumping performance is not described in other studies regarding BJJ athletes. However, observing our results, it seems that the jump performance can be a factor that discriminates between two groups with different levels of training and experience [32, 33].

Thanks to the results obtained in CMJ jump, we observed higher explosive strength in the legs of experts than in novices; this is reflected in the significant differences found in relation to three performance variables in the jump: height of jump (H), peak power (PP), and average power (AP). Furthermore, regarding the moment when the peak power was reached, we observe that there are significant differences in velocity (V_{pp}), but there are not differences in force (F_{pp}). This means that higher records in the variables discussed by experts (height, peak power and average power) are mainly due to their ability to generate more speed in the CMJ, maintaining strength levels.

We are aware that BJJ is a sport in which the manifestations of strength endurance are very important [6, 13]. However, as we have seen in the results of our research, athletes with more expertise and experience also have a good base of explosive strength. This statement is based on authors who explain that the decisive moments, that determine the result of the fight (guard passes, sweeps, submissions etc), require explosive strength and power. Therefore, these skills must be trained specifically in BJJ to improve them [3, 15] and plan your training, not only to improve your abilities but also so that the athlete has no performance losses at any specific period of training [5].

Looking at the three performance variables obtained in CMJ by our experts (H, PP and AP) and compared with other studies found in the literature, our data are very close to those obtained by Spanish students of the Faculty of Sports Science [34], but are clearly below most explosive athletes such as participants of the Spanish National badminton championship [35]. If we compare the data obtained about jumps in combat sports such as judo (due to the lack of evidence in BJJ) to our jump height data, they are below judo athletes [32], but they are very similar to Greek trained judokas [33].

To sum up, BJJ athletes have not achieved very high results in CMJ, especially when compared to highly explosive athletes like badminton players. However, observing our data, which led us to differences between experts and novices, and considering that

the explosive actions often decide the outcome the fight in BJJ, it would be very interesting to further investigate in this direction, both in the analysis of the explosive strength of legs and arms.

Limitations of the study

Since these athletes performed the tests about 1 hour before the competition, we selected interesting tests to investigate, which would not affect the subsequent performance during the fight. It would have been interesting to measure the hand gripping endurance and the explosive strength of arm as well as to perform a test of repeated jumps in different level groups just before an important competition (or at a close stage during the season).

Practical applications

Based on the literature review and the data obtained in our research, BJJ competitors could include exercises of this type within the specific stage: Work to improve the isometric handgrip strength, static (i.e. sustain grip holding on the *gi* rolled around the bar) and exercises to improve the gripping endurance, dynamically (i.e. with chin ups with *gi* or series of trx with *gi*). Furthermore, they should work to improve leg power (i.e. box jumps between 80 and 100 cm), repeated sprints, legs power drills).

CONCLUSIONS

BJJ athletes have less fat percentages, which is quite similar to other combat sports such as wrestling and judo.

It is suggested that BJJ athletes with higher experience, training, and level (experts), have adaptations and improvements related to the isometric handgrip strength, if we compare them with other athletes with less training time and lower levels (novice). These results are also interesting because some authors have established a direct relationship between isometric handgrip strength and gripping endurance. Thus, gripping endurance seems a key factor in the performance of BJJ athletes and appears as an essential variable in the specific literature.

Moreover, it is suggested that expert athletes have more power and explosive strength in their legs than novices because they are able to generate more power and height in the CMJ test. According to the available research bibliography, power actions in BJJ are the ones which often determine the final result of the fight.

ACKNOWLEDGMENTS

We are grateful for the athletes who took part in this study and for the cooperation of the Camilo José Cela University, Federação Portuguesa de Jiu-Jitsu Brasileiro (FPJJB), International Brazilian Jiu Jitsu Federation (IBJJF).

interests.

COMPETING INTERESTS

The authors declare that they have no competing

REFERENCES

- Gracie R, Gracie C. Brazilian Jiu-Jitsu: theory and technique. Montpelier, Vermont: Kid Peligro Publishers; 2000
- Guimaraes F. Jiu-Jitsu Brasileiro. Atlas do esportes no Brasil 2006; 10: 41-4
- Del Vecchio FB, Bianchi S, Hirata SM et al. Análise morfo-funcional de praticantes de Brazilian jiu jitsu e estudo da temporalidade e da quantificação das ações motoras na modalidade. *Movimento & Percepção* 2007; 7(10): 263-81
- Franchini E, Takito MY, Pereira J. Frequência cardíaca e força de prensão manual durante a luta de jiu-jitsu. *Lecturas Educación Física y Deportes*. [serial online] 2003; 9(65) [accessed 2013 sep 9]. Available from: URL:<http://www.efdeportes.com/efd65/jiujitsu.htm>
- Silva Neto A, Dechechi CJ. Efeito de treinamento de resistência anaeróbica específico para atletas de jiu-jitsu quanto à força de prensão manual e potência muscular. *Revista Hórus*. 2010; 4(2): 188-207
- Andreato LV, Franzoi de Moraes SM, Lopes de Moraes Gomes T et al. Estimated aerobic power, muscular strength and flexibility in elite Brazilian Jiu-Jitsu athletes. *Sci Sport*. 2011; 26: 329-337
- García JM, Navarro F, González JM et al. Paradigma experto-novato: análisis diferencial de la pérdida de consistencia del tokui waza en judo bajo situación específica de fatiga. *Int J Sports Sci* 2007; 3(3): 11-28
- Andreato LV, Franchini E, Franzoi de Moraes SM et al. Morphological profile of Brazilian jiu-jitsu elite athletes. *Rev Bras Med Esporte* 2012;18(1): 46-50
- Koley S, Yadav MK. An association of hand grip strength with some anthropometric variables in Indian cricket players. *Phys Educ Sport* 2009; 7: 113-123
- Visnapuu M, Jürimäe T. Handgrip Strength and Hand Dimensions in Young Handball and Basketball Players. *J Strength Cond Res* 2007; 21(3): 923-929
- Borges-Junior NG, Domenech SC, Silva AC et al. Comparative study of maximum isometric grip strength in different sports. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 2009; 11(3): 292-298
- Oliveira M, Moreira D, Godoy JRP et al. Avaliação da força de prensão palmar em atletas de jiu-jitsu de nível competitivo. *R bras Ci e Mov* 2006; 14(3): 63-70
- Jones NB, Ledford E. Strength and conditioning for Brazilian Jiu-Jitsu. *Strength Cond J* 2012 ;34(2): 60-68
- Bosco C, Cardinale M, Tsarpela O et al. The influence of whole body vibration on jumping performance. *Biol Sport* 1998; 15: 148-156
- Andreato LV, Franchini E, de Moraes SM et al. Physiological and Technical-tactical Analysis in Brazilian Jiu-jitsu Competition. *Asian J Sports Med* 2013; 4(2): 137-143
- Komi PV, Bosco C. Utilization of stores elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports* 1978; 10(4): 261-265
- Goubel F. Series elastic behavior during the stretch-shortening cycle. *J Appl Biomech* 1997; 13(4): 439-442
- Association WM. Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *J Postgrad Med* 2002; 48: 206-208
- Moon JR, Smith AE, Tobkin SE et al. Total body water changes after an exercise intervention tracked using bioimpedance spectroscopy: a deuterium oxide comparison. *Clin Nutr* 2009; 28(5): 516-525
- Iglesias E, Clavel I, Dopico J et al. Efecto agudo del esfuerzo específico de judo sobre diferentes manifestaciones de la fuerza y su relación con la frecuencia cardíaca alcanzada durante el enfrentamiento. *Rendimiento deportivo*.com [serial online] 2003; 6 [accessed 2013 nov 14]. Available from: URL:<http://www.rendimiento deportivo.com/N006/Artic027.htm>
- España-Romero V, Ortega FB, Vicente Rodriguez G et al. Elbow position affects handgrip strength in adolescents: validity and reliability of Jamar, DynEx, and TKK dynamometers. *J Strength Cond Res* 2010; 24: 272-277
- Segura-Orti E, Martinez-Olmos FJ. Test-retest reliability and minimal detectable change scores for sit-to-sit test, the six-minute walk test, the one leg heel-rise test, and handgrip strength in people undergoing hemodialysis. *Phys Ther* 2011; 91: 1244-1252
- Linthorne N. Analysis of standing vertical jump using a force platform. *Am J Phys* 2001; 69: 1198-1204
- Corrêa da Silva BV, Moacir Marocolo J, de Moura Simin MA et al. Reliability in kimono grip strength tests and comparison between elite and non-elite Brazilian Jiu-Jitsu players. *Arch Budo* 2012; 8(2): 103-107
- Franchini E, Bezerra P, Oliveira RSF et al. Concentração de lactato sanguíneo, frequência cardíaca e força de prensão manual durante um combate de jiu-jitsu. *Corpoconsciência* 2005; 9(1): 21-29
- Franchini E, Takito MY, Kiss MA et al. Physical fitness and anthropometrical differences between elite and non-elite judo players. *Biol Sport* 2005; 22: 315-328
- Little NG. Physical performance attributes of Junior and Senior women, Juvenile, Junior and Senior men judokas. *J Sport Med Phys Fit* 1991; 31: 510-520
- Thomas SG, Cox MH, Legal YM et al. Physiological profiles of the Canadian National Judo Team. *Can J Sport Sci* 1989; 14(3): 142-147
- Siddiqi T, Walker S, Admunsen L, editors. Measurement of hand grip fatigue. *Proceedings of the Annual Conference of the American Physical Therapy Association*; 2002
- Yamaji S, Demura S, Nagasawa Y et al. The influence of different target values and measurement times on the decreasing force curve during sustained static J. *Physiol Anthropol* 2006; 25: 23-28
- Bonitch-Gongora JG, Almeida F, Padial P et al. Maximal isometric handgrip strength and endurance differences between elite and non-elite young judo athletes. *Arch Budo* 2013; 9(4): 239-248
- Fernandes Monteiro L, Massuca LM, García García JM et al. Plyometric muscular action tests in judo- and non-judo athletes. *Isokinet Exerc Sci* 2011; 19: 287-293
- Zaggelidis G, Lazaridis SP, Malkogiorgios A et al. Differences in vertical jumping performance between untrained males and advanced greek judokas. *Arch Budo* 2012; 8(2): 87-90
- Lara AJ, Abian J, Alegre LM et al. Assessment of power output in jump test for applicants to a sports sciences degree. *J Sports Med Phys Fitness* 2006; 46: 419-424
- Abián-Vicén J, Del Coso J, González Millan C et al. Analysis of Dehydration and Strength in Elite Badminton Players. *PLoS One* 2012; 7(5): e37821

Cite this article as: Diaz-Lara FJ, García JMG, Monteiro LF et al. Body composition, isometric hand grip and explosive strength leg – similarities and differences between novices and experts in an international competition of Brazilian jiu jitsu. *Arch Budo* 2014; 10: 211-217

ANEXO 4. PAPER 2

Díaz-Lara, F. J., Del Coso, J., García, J. M., & Abian-Vicen, J. (2015). Analysis of physiological determinants during an international Brazilian Jiu-jitsu competition. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15, 489-500.

Analysis of physiological determinants during an international Brazilian Jiu-jitsu competition

Francisco Javier Diaz-Lara¹, Juan del Coso², José Manuel García¹ and Javier Abián-Vicén³

¹Sport Training Laboratory. Faculty of Sport Sciences. University of Castilla-La Mancha, Toledo. Spain.

²Exercise Physiology Laboratory. Sport Science Institute. Camilo José Cela University. Madrid, Spain.

³Performance and Sport Rehabilitation Laboratory. Faculty of Sport Sciences. University of Castilla-La Mancha. Toledo. Spain.

Abstract

The aim of this study was to determine the physical and physiological demands of a Brazilian Jiu-Jitsu (BJJ) competition. Twenty-six expert male BJJ athletes competing in the 2013 European Open Jiu-Jitsu Championship participated in the study. Before and after an official fight, maximal handgrip strength and maximal height during a countermovement jump (CMJ) were measured. Blood samples were obtained just after the fight and after 10 min of passive recovery to assess blood lactate concentration and clearance. Handgrip force (from 49.65 to 44.85 kgf; $P < 0.01$) and maximal CMJ height (from 34.0 ± 5.2 to 30.8 ± 6.7 cm; $P < 0.001$) were significantly reduced from pre-to-post fight. Lactate concentration at the end of the fight (14.8 ± 3.2 mmol·L⁻¹) was progressively cleared at a rate of 0.45 ± 0.2 mmol·L⁻¹·min⁻¹. In conclusion, an official BJJ fight causes measurable muscle fatigue in both upper- and lower-body extremities. Moreover, energy production during a BJJ fight greatly relies on the glycolytic pathway and thus the rate of blood lactate clearance could be a determinant physiological factor for success in this sport.

Key words: Muscle performance, combat sports, training load, blood lactate, glycolysis.

1. Introduction

Brazilian Jiu-jitsu (BJJ) is a self-defense art and competitive sport based on taking your opponent to the ground, achieving positional control by continuous grappling, and applying submission holds involving joint locks and chokeholds until one of the contestants surrenders. In the absence of a submission at the end of the fight, the winner is declared according to the number of points gained (Del Vecchio, Bianchi, Masashi Hirata, and Trainá Chacon-Mikahil, 2007; Jones and Ledford, 2012). Like other combat

sports, most of the grappling is performed with both opponents on the mat where physical differences in strength can be offset using the mechanical advantage provided by submission techniques. Once the opponent is on the ground, a number of maneuvers and counter-maneuvers are available to manipulate the adversary into a suitable position for the application of a submission technique. At present, BJJ is practiced by thousands of athletes worldwide, however, very few scientific studies have been designed to gain an understanding of the physical and physiological demands of this sport (Jones and Ledford, 2012; Andreato et al., 2011).

The duration of a BJJ fight in official championships for adults graded as purple, brown and black belts are 7, 8 and 10 minutes, respectively (International Brazilian Jiu-Jitsu Federation, 2014). During the fight the athletes perform high intensity actions, most or many of which are based on strong isometric as well as dynamic contractions (concentric and eccentric), in both the upper and lower extremities, interspersed with short periods of pauses (when the participants leave the mat) or lower intensity actions. A BJJ fight comprises periods of 170 s of activity followed by 13 ± 6 s pause (Del Vecchio et al., 2007). Thus, much of the energy production during the fight mostly relies on the glycolytic pathway because the effort/pause ratio is not sufficient to fully restore the phosphagen systems (Andreato et al., 2013). Furthermore, the ability to tolerate low intramuscular and blood pH values is crucial during a BJJ combat in order to maintain muscle strength and power during the fight, especially given the high demands of official competition (Jones and Ledford, 2012).

During an official tournament, a successful fighter has to perform several fights in a row as he/she reaches successive rounds. In international competitions, the winner has to compete in between 4 and 6 fights on the same day where the recovery time between combats is relatively short: up to the semi-finals, the time between consecutive fights could be only 10 min but a 20 min recovery is allowed between the semi-final and the final (International Brazilian Jiu-Jitsu Federation, 2014). Therefore, not only the production capacity but also the rate of blood lactate clearance might be a decisive physiological factor for determining success in BJJ. Superior blood lactate clearance could facilitate the attainment of an appropriate intramuscular pH before the next fight (Pereira et al., 2011).

Another key characteristic of this sport is the need for high values of isometric strength in the upper extremities to maintain a continuous grip on the opponent's gi (e.g, uniform). In the course of a fight, the athlete maintains a strong grip on different parts of the opponent's body in order to perform new ways of attack, defense, counter-attacks, etc. (Oliveira, Moreira, Godoy, and Cambraia, 2006). Recently, it has been suggested that expert BJJ athletes (with great experience, training status, and competition level) presented higher values of isometric handgrip strength than a group of novice BJJ fighters (Díaz-Lara, García, Monteiro, and Abián-Vicén, 2014). For these reasons, static and dynamic grip strength, and gripping endurance (the capacity of the muscles responsible for the grip on the gi to perform a maximal or submaximal contraction for an extended period) are necessary to compete effectively in this sport.

Apart from maintaining strength in the upper limbs, the continuous movements across the mat to attain an advantageous position over the opponent require high values of explosive

strength in the lower limbs. In fact, it has been suggested that the decisive movements/actions that determine the result of the fight (guard passes, sweeps, submissions etc) are based on explosive strength and power (Andreato et al., 2013; Del Vecchio et al., 2007); and expert BJJ fighters have more power and explosive strength in their leg muscles than novice fighters because they are able to generate more peak power and more height in a countermovement jump (CMJ) (Diaz-Lara et al., 2014). Based upon this previous scientific information, the aim of this study was to investigate the physical and physiological demands of a BJJ fight, by determining how a BJJ competition affects upper- and lower-body muscle strength and maximum production and clearance of blood lactate.

2. Material and Methods

2.1. Participants

A total of 26 male BJJ athletes (age: 28.9 ± 4.2 yr, height: 176.1 ± 6.1 cm, body mass: 75.4 ± 9.7 kg, body fat: 9.5 ± 2.1 % and body muscle: 71.2 ± 8.9 %) volunteered to participate in this investigation. The participants, from 9 different countries, competed in the 2013 European Open Jiu-Jitsu Championship celebrated in Lisbon (Portugal) organized by the International Brazilian Jiu-jitsu Federation (IBJJF). All the participants were categorized as experts in BJJ following the criteria of Diaz-Lara et al. (2014), they had more than 4 years of BJJ experience (experience: 7.4 ± 3.6 yr.), were from purple to black belt level (12 were black belts, 6 were brown belts and 8 were purple belts) and had trained for $\sim 2 \text{ h} \cdot \text{day}^{-1}$, $4 \text{ days} \cdot \text{week}^{-1}$ during the previous year. All this information was obtained by questionnaire. All participants were informed about the nature and the purpose of the study, as well as the measurements which were going to be taken. After that, participants signed a consent form to allow the researchers to take the measurements and use their data for scientific purposes. The study was approved by the local Research Ethics Committee, in accordance with the latest version of the Declaration of Helsinki (World Medical Association, 2002).

2.2. Study design

The 2013 European Open Championship (IBJJF) was celebrated in the Casal Vistoso Pavilion. The organization made available a room near to the competition mat to take all the measurements. Participants arrived at the measurement room 60 min before the onset of their first fight in the championship. At this time, body height (SECA Ltd, Germany with a sensitivity of ± 0.1 cm) and body mass (Radwag, Poland with a sensitivity of ± 0.05 kg scale) were measured. Body composition was calculated by bioimpedance (BC-418. Tanita Corp. Tokyo. Japan) using established standards and calculating body fat and body muscle composition for each participant (Moon et al., 2009). Then they performed a specific warm-up for 20 minutes that replicated their habitual pre-competition routines. After this, participants performed a maximal hand grip test with a dynamometer and finally a CMJ test. Once the athletes had finished their first fight in the competition, they quickly returned to the measurement room to start the post-fight measurement. Within 2 min of the end of the fight, a blood sample was withdrawn from a fingertip to assess post-fight blood lactate concentration, just after the participants performed the hand grip strength test and CMJ test. At this time, the athletes made only one attempt, both hand grip as CMJ, because we wanted this, did not affect much their recovery. Just 10 min after

the fight another blood samples was obtained to assess blood lactate clearance during the recovery period (Figure 1). This recovery time was selected because it represents the time between combats in official BJJ competitions (International Brazilian Jiu-Jitsu Federation, 2014). The athletes were previously familiarized with the measuring instruments and the protocols used in this investigation.

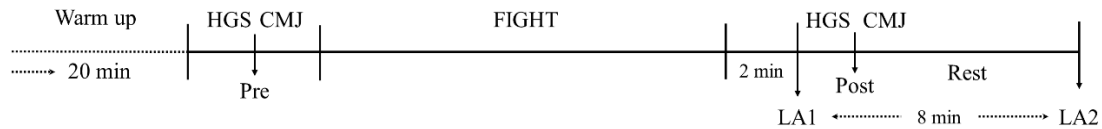


Figure 1. Research design. (HGS = Hand grip strength; CMJ = Countermovement jump; LA = Blood lactate sample)

2.3. Handgrip test

In the hand grip strength test, the participants had to grip a manual dynamometer (Takei scientific instruments co. Japan with an accuracy of 1 N), as hard as possible (maximal force production). Two attempts were made with the elbow extended, the arm parallel to the body and the wrist in neutral position according to the indications of several authors (España-Romero et al., 2010; Iglesias, Clavel, Dopico, and Tuimil, 2003; Segura-Orti and Martínez-Olmos, 2011), and the muscle contraction was maintained for 4 s. There was 1 minute of rest between attempts and the highest value was chosen for the analyses.

2.4. CMJ test

For the CMJ test, the participants jumped on a Quattro Jump force platform (Kistler, Switzerland; sampling rate of 500 Hz) with their hands on their waist at all times. The angle of knee flexion during the CMJ was freely chosen by the participant. The highest jump recorded out of three valid attempts (with 1 min of rest between them) was chosen for statistical analysis. Average leg muscle power output during the impulse phase, jump height from flight time, velocity of the center of gravity and force at which peak power was reached, vertical path of the center of gravity between the first instant of the landing and the lowest position of the center of gravity during the landing and second peak of vertical force during the landing were measured.

2.5. Blood lactate measurement

For each blood lactate measurement, a 0.2 µl sample was taken from the fingertip at 2 and 10 minutes after the first fight of the competition. To obtain data on maximum production of blood lactate, we took as a reference the second minute after the end of the combat as the peak of lactate production usually occurs between the first and second minutes after finishing a fight (Bonitch-Dominguez, 2006). The data on blood lactate clearance was calculated as the difference between the first (2-min post-fight) and the second measurement (10-min post fight) divided by the time between both measurements (e.g., 8 min). The blood lactate concentration was determined using a portable blood lactate analyzer (Lactate Scout, Germany) with an enzymatic-amperometric biosensor as the measuring element.

2.6. Variables

The dependent variables in the study were, in the hand grip test, maximum force production generated by the dominant and non-dominant hand (kgf). In the CMJ test, the following measures were analyzed: Jump height (H) calculated from the flight time measured in cm; Position of the center of gravity at the highest point in the flight phase (Hf) measured in cm; Velocity at peak power (V_{pp}) measured in $m \cdot s^{-1}$; Force at peak power (F_{pp}) measured in N; Average Power (AP) measured in $W \cdot kg^{-1}$; Vertical path of the center of gravity in the landing (Lr) measured in cm; and Second peak vertical force in landing (F2) measured in body weight (BW). The dependent variables analyzed in the lactate samples were: maximum production of blood lactate before the first fight, measured in $mmol \cdot L^{-1}$ and blood lactate clearance, measured in $mmol \cdot L^{-1}$ per minute. The moment of testing, before and just after the first fight of the competition, was established as the independent variable.

2.7. Statistical analysis

The SPSS v. 19.0 program (SPSS Inc., USA) was used to perform the statistical calculations with descriptive and inferential statistical tests. Initially, normality was tested in all variables with the Shapiro-Wilk test. After that, Student's t test for dependent samples was used to establish the differences in the normally distributed variables between pre and post fight. For the non-parametric variables, differences between pre and post fight were established with the Wilcoxon matched-pairs signed-rank test. The criterion for statistical significance was set at $P < 0.05$. The effect size was calculated in all pairwise comparisons according to the formula proposed by Glass, McGaw, and Smith (1981). The magnitude of the effect size was interpreted using the scale by Cohen (Cohen, 1988): an effect size of lower than 0.2 was considered as small, an effect size of around 0.5 was considered as medium and an effect size of over 0.8 was considered as large. All the data are presented as mean \pm standard deviation.

3. Results

Handgrip force was significantly reduced from pre-to-post fight from 49.65 to 44.85 kgf ($P < 0.01$). The results of the handgrip strength test measured before and just after the fight are shown in Table 1. The BJJ fight caused a significant reduction ($P < 0.05$) in handgrip strength production in both, dominant and non-dominant hands. The results obtained in the variables analyzed during the CMJ test are shown in Table 2. Again, the BJJ fight produced significant reductions in jump height, velocity at peak power and average power during the push-off phase ($P < 0.05$). There was a tendency for a greater value of F2 when comparing pre- and post-fight measurements. Maximal blood lactate concentration after the fight was $14.8 \pm 3.2 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$. Blood lactate concentration significantly decreased until $11.2 \pm 2.9 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$ in the measurement performed 10 min after the fight ($P < 0.05$). This change in blood lactate concentration represented a blood lactate clearance of $0.45 \pm 0.2 \text{ mmol} \cdot L^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

Table 1. Handgrip force before and just after an official Brazilian Jiu-Jitsu fight. Data are mean \pm SD for 26 expert Brazilian Jiu-Jitsu fighters.

<i>Variables</i>	Pre-fight	Post-fight	% Dif.	P value	Effect Size
Non-Dominant (kgf)	48.5 \pm 5.6	43.7 \pm 6.5	-9.2 \pm 7.1	< 0.001*	0.7
Dominant (kgf)	50.8 \pm 5.2	46.0 \pm 6.1	-9.7 \pm 9.9	< 0.001*	0.8

(*) Different from pre-fight at $P < 0.05$

Table 2. Performance variables measured during a countermovement jump before and just after an official Brazilian Jiu-Jitsu fight. Data are mean \pm SD for 26 expert Brazilian Jiu-Jitsu fighters.

<i>Variables</i>	Pre fight	Post fight	% Dif.	P	Effect Size
H (cm)	34.0 \pm 5.2	30.8 \pm 6.7	-9.8 \pm 12.4	< 0.001*	0.6
AP (W·kg⁻¹)	26.2 \pm 5.0	24.6 \pm 4.9	-5.8 \pm 12.5	0.023*	0.3
V_{pp} (m s⁻¹)	2.4 \pm 0.2	2.3 \pm 0.2	-4.6 \pm 6.4	< 0.001*	0.6
F_{pp} (N)	1546.5 \pm 231.2	1579.2 \pm 246.9	2.3 \pm 6.6	0.122	0.1
Lr (cm)	-16.5 \pm 8.5	-15.8 \pm 8.8	-1.9 \pm 33.0	0.501	0.6
F2 (BW)	5.4 \pm 2.2	4.6 \pm 1.9	-8.4 \pm 35.7	0.064	0.3

(*) Different from pre-fight at $P < 0.05$; H= maximal jump height calculated from flight time; AP= average power during the impulse phase of the jump; V_{pp}=velocity of the center of gravity at which peak power was reached; F_{pp}= force output at which peak power was reached; Lr= vertical path of the center of gravity between the first instant of the landing and the lowest position of the center of gravity during the landing; F2 = second peak vertical force during the landing.

4. Discussion

In this investigation, BJJ fighters competing in the 2013 European Open Jiu-Jitsu Championship (IBJJF) obtained handgrip strength values of 50.8 \pm 5.2 kgf in the dominant hand and of 48.5 \pm 5.6 kgf in the non-dominant hand (Table 1). These values are higher than those obtained in elite BJJ athletes (Andreato et al., 2011), and very near to those obtained by BJJ brown and black belts (Oliveira et al., 2006). Nevertheless, these values are slightly lower than the ones found for BJJ black belts (Franchini, Takito, and Pereira, 2003; Franchini, Bezerra, RSF., LC., and DL., 2005). If we compare the values obtained in the present investigation with other combat sports of similar characteristics, like Judo, our results are below those of senior judokas and the Canadian judo team (Little, 1991; Thomas, Cox, LeGal, Verde, and Smith, 1989). Some investigators that

have studied hand grip strength in BJJ athletes have concluded that participants in this sport do not have high hand grip strength results, especially if data are compared with those of high level judokas, they explain that gripping endurance could be more important for this sport (Franchini et al., 2003; Oliveira et al., 2006; Andreato et al., 2011). However, Bonitch-Gongora, Almeida, Padial, Bonitch-Dominguez and Feriche (2013) suggest that elite judokas are able to develop higher levels of hand grip strength and also have better strategies to resist successive contractions. Furthermore, in a recent study, hand grip strength results have been a useful tool to discriminate between expert and novice BJJ athletes (Diaz-Lara et al., 2014). All this information suggests that reaching a minimum value of hand grip strength might be necessary to compete at a high level in BJJ.

Previous investigations have found that handgrip strength is reduced between 11 and 16% during a BJJ combat (Andreato et al., 2013; Franchini et al., 2003). The handgrip force reduction is similar to the one reported in Judo, with reductions of between 10 and 15% (Bonitch-Gongora, Bonitch-Dominguez, Padial, and Feriche, 2012). The present investigation is novel because it presents the magnitude of handgrip force loss during an international combat in expert BJJ fighters. The force loss was slightly lower than previously reported, although it confirms fatigability of the grip muscles in the forearms of expert BJJ fighters (Table 1). This fatigue in the forearms occurs because the more continuous grip actions performed in BJJ, require high endurance to maintain constant levels of force over a longer time (Andreato et al., 2012; Oliveira et al., 2006). It could be interesting for future investigations, to measure isometric handgrip in successive fights during a competition to observe if force continues to decrease.

In combat sports, values of jump height in elite fighters are between 30 and 40 cm although there are some differences among sports disciplines (Bosco, 1994). Specifically for BJJ fighters, the pre-fight jump height found in this investigation was very similar to the values found in expert BJJ fighters (Diaz-Lara et al., 2014). CMJ height of BJJ fighters is also similar to trained Greek judokas (Zaggelidis, Lazaridis, Malkogiorgios, and Mavrovouniotis, 2012). The high-intensity actions performed in BJJ are predominantly short (less than 3 s) since the decisive moments of the fight (scores, submissions, etc) require explosive force and power (Andreato et al., 2013; Del Vecchio et al., 2007). Therefore, the use of a CMJ could be a good way to record leg muscle power in BJJ and to assess the effectiveness of power training routines.

When comparing data from before and after the BJJ fight, we found a significant post-fight decrease in most of the variables measured during the CMJ (Table 2). These data indicate that a BJJ fight produces measurable muscle fatigue in the lower limbs. There are few studies in combat sports that have analyzed the acute effect of a fight on jump performance; Iglesias et al. (2003) did not find significant differences in 8 judokas who performed a CMJ before and after a combat. These authors argued that explosive actions during the combat were happening intermittently and with sufficient time for recovery indicating that a Judo combat does produce lower leg fatigue. Similarly, Bonitch-Dominguez, Bonitch-Gongora, Padial, and Feriche (2010) found that successive judo combats (four combats of 5-min) had no effect on the peak power developed during a jump. However, Kraemer et al. (2001) in an investigation carried out with wrestlers, found

a significant decrease in jump performance but this deleterious effect was found only after 3 fights (not after the first two fights).

An explanation for the lower-limb muscle fatigue found in BJJ after just one fight, when this has not been present in other combat sports, could be due to the differences in the effort-pause ratio. Judo and wrestling typically present an effort-pause ratio of approximately 2:1, 3:1 (Franchini, Artioli, and Brito, 2013; Nilsson, Csergo, Gullstrand, Tveit, and Refsnes, 2002) while BJJ has a higher effort-pause ratio of approximately 10:1 (Del Vecchio et al., 2007). This means that, in BJJ, the presumably longer sequences of effort during the fight together with the shorter recovery periods could signify insufficient time for the restoration of energy substrates that this manifestation of force requires. Nonetheless, it would be very interesting to further investigate the causes of the leg muscle fatigue found after BJJ combats.

Previous investigations have measured blood lactate concentration in BJJ fighters, mostly after simulated fights (Andreato et al., 2012; Andreato et al., 2013; da Silva et al., 2013; Franchini et al., 2005). These studies have found blood lactate concentrations of between 9 and 11 mmol·L⁻¹ indicating a moderate activation of the glycolytic pathway during a BJJ fight. Only one of these research projects measured blood lactate values after a real competition, albeit at the regional level (10.1 ± 8.0 mmol·L⁻¹; (Andreato et al., 2013)). On the other hand, Pereira et al. (2011) found a higher value (14.2 ± 5.9 mmol·L⁻¹) in simulated BJJ fights. Our results confirm the reliance on the glycolytic pathways during official BJJ combats, similar to judo values (Bonitch-Gongora et al., 2012), and also offer the novelty of indicating higher values of blood lactate concentration (14.8 ± 3.2 mmol·L⁻¹) than previously found during simulated competitions. The higher level of opponent (international competition) vs training peers during simulated/training competitions could be another key factor for increased blood lactate in real fights. Besides, the competitive environment can amplify the stress imposed on the athletes in different sports because of additional psychological and physical demands (Haneishi et al., 2007; Passelergue, Robert, and Lac, 1995). Moreira et al. (2012) found that a BJJ competition amplified the concentration of stress hormones (salivary cortisol and immunoglobulin), when compared with combat simulations or training sessions. All this information indicates that coaches should try to simulate the level of opponents and competitive stress in training, through motivational strategies in order to obtain situations that replicate the physical demands of a BJJ competition.

Only three investigations have analyzed blood lactate clearance after a BJJ fight. These investigations obtained values of lactate clearance of between 0.27 and 0.41 mmol·L⁻¹·min⁻¹ during a recovery period of 15 min after the fight (Andreato et al., 2012; da Silva et al., 2013; Pereira et al., 2011). In our study, we found slightly higher values of blood lactate clearance (0.45 ± 0.2 mmol·L⁻¹·min⁻¹), although our values are significantly lower than the ones found in elite judokas (from 0.55 to 0.98 mmol·L⁻¹·min⁻¹ between 10 and 15 min recovery) (Bonitch-Dominguez, 2006; Ebine, Yoneda, Hase, and Aihara, 1991; García, 2004). Instead of setting 15 min of recovery, we measured blood lactate clearance during a 10-min recovery period because we were in a real competition and the athletes had to fight their second match after a 10 minute rest period, according to the competition rules (International Brazilian Jiu-Jitsu Federation, 2014). According to Sahlin (1992), the mean return times from maximum lactate to basal values range between 30 and 60 min.

Therefore, start the following fight with the best recovery status is a key factor for success in BJJ and measuring the blood lactate clearance rate could be an excellent indicator to discover how athletes recover in the course of a competition.

5. Conclusion

This study indicates that the use of the glycolytic pathways during an official BJJ fight is higher than previously suggested. The rate of blood lactate clearance is essential for BJJ performance because the recovery time between fights is insufficient to return to pre-fight blood lactate values. Furthermore, it has been observed that BJJ fighting causes muscle fatigue in both upper-body and lower-body muscles. Thus, strategies to reduce this muscle fatigue should be implemented to improve performance in this combat sport.

6. Practical Applications

Data derived from this ecological study could be interesting for coaches and athletes. Firstly because of the high intensity produced during a BJJ real fight, it is essential for the athlete to develop physiological adaptations to buffer acidosis, especially during the recovery time between combats. Therefore it would seem imperative for coaches to simulate the intensity, the high level of activation and the stress of competition during practice. Training combat sessions (sparring) that replicate the duration, intensity, level of opponents and effort:rest ratios of a real fight seem the best option to prepare a fighter for a competition. In addition, we recommend an individualized analysis of production and lactate clearance to set the work intensity of each of the athletes. On the other hand, to counteract the fatigability of handgrip in BJJ, is not enough working the maximum isometric force, rather it is necessary increase the capacity of the muscles responsible for the grip on the gi to perform maximal or submaximal contractions for a long period. Moreover, plyometric training is often integrated and combined to improve power endurance in lower limbs, with resistance training, conditioning sessions or specific routines in BJJ (Ratamess, 2011).

7. Acknowledgments

The authors wish to thank the participants for their contribution to the study. Additionally, they thank the Federação Portuguesa de Jiu-Jitsu Brasileiro (FPJJB) and International Brazilian Jiu-Jitsu Federation (IBJJF) for its help for the purposes of this investigation.

The authors declare that they have no conflict of interest derived from the outcomes of this study.

8. References

- Andreato, L.V., Franzói de Moraes, S.M., Moraes Gomes, T., Esteves, J.V., Andreato, T.V., and Franchini, E. (2011). Estimated aerobic power, muscular strenght and flexibility in elite Brazilian Jiu-Jitsu atheletes. **Science & Sports**, 26, 329-337.
- Andreato, L.V., Franzói de Moraes, S.M., Esteves, J.V., de Araújo Pereira, R., de Moraes Gomes, T., Andreato, T.V., and Franchini, E. (2012). Physiological responses and rate of perceived exertion in Brazilian Jiu-Jitsu athletes. **Kinesiology**, 44(2), 173-181.
- Andreato, L.V., Franchini, E., de Moraes, S.M., Pastorio, J.J., da Silva, D.F., Esteves, J.V., Branco, B.H., Romero, P.V., Machado, F.A. (2013). Physiological and Technical-tactical Analysis in Brazilian Jiu-jitsu Competition. **Asian Journal of Sports Medicine**, 4(2), 137-143.
- Bonitch-Dominguez, J.G. (2006). **Evolución de la fuerza muscular del tren superior en sucesivos combates de judo**. Universidad de Granada. España.
- Bonitch-Dominguez, J.G., Bonitch-Gongora, J.G., Padial, P., and Feriche, B. (2010). Changes in peak leg power induced by successive judo bouts and their relationship to lactate production. **Journal of Sports Sciences**, 28(14), 1527-1534.
- Bonitch-Gongora, J.G., Bonitch-Dominguez, J.G., Padial, P., and Feriche, B. (2012). The effect of lactate concentration on the handgrip strength during judo bouts. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, 26(7), 1863-1871.
- Bonitch-Gongora, J.G., Almeida, F., Padial, P., Bonitch-Dominguez, J.G., and Feriche, B. (2013). Maximal isometric handgrip strength and endurance differences between elite and non-elite young judo athletes. **Archives of Budo**, 9, 239-248.
- Bosco, C. (1994). **La Valoración de la fuerza com el Test de Bosco**. Barcelona: Paidotribo.
- Cohen, J. (1988). **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- da Silva, B.V.C., Marocolo Júnior, M., de Monteiro, G.G.F.S., Junior, L.O.S., de Moura Simin, M.A., Mendes, E.L., and Da Mota, G.R. (2013). Blood Lactate Response After Brazilian Jiu-Jitsu Simulated Matches. **Journal of Exercise Physiology Online**, 16(5), 63-67.
- Del Vecchio, F.B., Bianchi, S., Masashi Hirata, S., and Trainá Chacon-Mikahil, M.P. (2007). Análise morfo-funcional de praticantes de brazilian jiu jitsu e estudo da temporalidade e da quantificação das ações motoras na modalidade. **Movimiento & Percepção** 7(10), 263-281.
- Diaz-Lara, F., García, J., Monteiro, L., and Abián-Vicén, J. (2014). Body composition, isometric hand grip and explosive strength leg – similarities and differences between novices and experts in an international competition of Brazilian jiu jitsu. **Archives of Budo**, 10, 211-217.
- Ebine, K., Yoneda, I., Hase, H., and Aihara, K. (1991). Physiological characteristics of exercise and findings of laboratory test in Japanese elite judo athletes. **Médecine du Sport**, 65, 73-79.
- Espana-Romero, V., Ortega, F.B., Vicente-Rodriguez, G., Artero, E.G., Rey, J.P., and Ruiz, J.R. (2010). Elbow position affects handgrip strength in adolescents: validity and reliability of Jamar, DynEx, and TKK dynamometers. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, 24(1), 272-277.

- International Brazilian Jiu-Jitsu Federation. (2014). **Rule Book and general competition guidelines**. Retrieved December 1, 2014, from http://ibjjf.org/wp-content/uploads/2014/05/20140507_RuleBookIBJJF_v3.pdf
- Franchini, E., Takito, M.Y., and Pereira, J. (2003). Frequência cardíaca e força de preensão manual durante a luta de jiu- jitsu. **Lecturas Educación Física y Deportes**, 9(65).
- Franchini, E., Bezerra, P., Oliveira, R.S.F., Souza, L.C., and Oliveira, D.L. (2005). Concentração de lactato sanguíneo, frequência cardíaca e força de preensão manual durante um combate de jiu-jitsu. **Corpoconsciência**, 9(1), 21-29.
- Franchini, E., Artioli, G., and Brito, C.J. (2013). Judo combat: time-motion analysis and physiology. **International Journal of Performance Analysis in Sport**, 13(3), 624-641.
- García, J.M. (2004). **Análisis diferencial entre los paradigmas experto-novatos en el contexto del alto rendimiento deportivo en Judo**. Universidad de Castilla La Mancha, Toledo, España.
- Glass, G., McGaw, B., and Smith, M. (1981). **Meta-analysys in social research**. Newbury Park, CA: Sage.
- Haneishi, K., Fry, A.C., Moore, C.A., Schilling, B.K., Li, Y., and Fry, M.D. (2007). Cortisol and stress responses during a game and practice in female collegiate soccer players. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, 21(2), 583-588.
- Iglesias, E., Clavel, I., Dopico, J., and Tuimil, J.L. (2003). Efecto agudo del esfuerzo específico de judo sobre diferentes manifestaciones de la fuerza y su relación con la frecuencia cardíaca alcanzada durante el enfrentamiento. **Rendimiento Deportivo**, 6, 27-30.
- Jones, N.B., and Ledford, E. (2012). Strength and conditioning for Brazilian Jiu-Jitsu. **Strength and Conditioning Journal** . 34(2), 60-68.
- Kraemer, W.J., Fry, A.C., Rubin, M.R., Triplett-McBride, T., Gordon, S.E., Koziris, L.P., Lynch, J.M., Volek, J.S., Meuffels, D.E., Newton, R.U., and Fleck, S.J. (2001). Physiological and performance responses to tournament wrestling. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 33(8), 1367-1378.
- Little, N.G. (1991). Physical performance attributes of junior and senior women, juvenile, junior, and senior men judokas. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, 31(4), 510-520.
- Moon, J.R., Smith, A.E., Tobkin, S.E., Lockwood, C.M., Kendall, K.L., Graef, J.L., Roberts, M.D., Dalbo, V.J., Kerksick, C.M., Cramer, J.T., Beck, T.W., and Stout, J.R. (2009). Total body water changes after an exercise intervention tracked using bioimpedance spectroscopy: a deuterium oxide comparison. **Clinical Nutrition**, 28(5), 516-525.
- Moreira, A., Franchini, E., de Freitas, C.G., Schultz de Arruda, A.F., de Moura, N.R., Costa, E.C., and Aoki, M.S. (2012). Salivary cortisol and immunoglobulin A responses to simulated and official Jiu-Jitsu matches. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, 26(8), 2185-2191.
- Nilsson, J., Csergo, S., Gullstrand, L., Tveit, P., and Refsnes, P.E. (2002). Work-time profile, blood lactate concentration and rating of perceived exertion in the 1998 Greco-Roman Wrestling World Championship. **Journal of Sports Sciences**, 20(11), 939-945.

- Oliveira, M., Moreira, D., Godoy, J.R.P., and Cambraia, A.N. (2006). Avaliação da força de preensão palmar em atletas de jiu-jitsu de nível competitivo. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, 14(3), 63-70.
- Passelergue, P., Robert, A., and Lac, G. (1995). Salivary cortisol and testosterone variations during an official and a simulated weight-lifting competition. **International Journal of Sports Medicine**, 16(5), 298-303.
- Pereira, R.F., Lopes, C.R., Dechechi, C.J., Silva, B.V.C., Ide, B.N., and Navarro, A.C. (2011). Cinética de remoção de lactato em atletas de Brazilian Jiu-jitsu. **Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**, 5(25), 34-44.
- Ratamess, N.A. (2011). Strength and Conditioning for Grappling Sports. **Strength and Conditioning Journal**, 33(6), 18-24.
- Sahlin, K. (1992). Metabolic factors in fatigue. **Sports Medicine**, 13(2), 99-107.
- Segura-Orti, E., and Martinez-Olmos, F.J. (2011). Test-retest reliability and minimal detectable change scores for sit-to-stand-to-sit tests, the six-minute walk test, the one-leg heel-rise test, and handgrip strength in people undergoing hemodialysis. **Physical Therapy**, 91(8), 1244-1252.
- Thomas, S.G., Cox, M.H., LeGal, Y.M., Verde, T.J., and Smith, H.K. (1989). Physiological profiles of the Canadian National Judo Team. **Canadian Journal of Sport Sciences**, 14(3), 142-147.
- World Medical Association. (2002). Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. **Journal of Postgraduate Medicine**, 48, 206-208.
- Zaggelidis, G., Lazaridis, S.P., Malkogiorgios, A., and Mavrovouniotis, F. (2012). Differences in vertical jumping performance between untrained males and advanced greek judokas. **Archives of Budo**, 8(2), 87-90.

Address for correspondence:

Javier Abian-Vicen
University of Castilla-La Mancha.
Avda. Carlos III s/n. Toledo, 45071. SPAIN
Telephone: 34+925268800 (Ext. 5522)
Fax.: 34+902204130
E-mail: javier.abian@uclm.es

