

## **Efecto agudo de la ingestión de cafeína sobre el tiempo de reacción y la actividad electromiográfica de la patada circular Dollyo Chagi en taekwondistas**

### **Acute effect of caffeine ingestion on reaction time and electromyographic activity of the Dollyo Chagi round kick in taekwondo fighters**

**Luis Cortez<sup>1</sup>, Karen Mackay<sup>2</sup>, Edwin Contreras<sup>3</sup>, Luis Peñailillo<sup>2</sup>**

1. Escuela de Nutrición y Dietética, Facultad de Medicina, Universidad Andrés Bello, Chile

2. Laboratorio de Ciencias del Ejercicio, Escuela de Kinesiología, Facultad de Medicina, Universidad Finis Terrae, Chile

3. Escuela de Kinesiología, Facultad de Ciencias, Universidad de la Serena. Chile

#### **Resumen**

La cafeína es una de las sustancias ergogénicas más consumidas en el deporte, debido a sus propiedades estimulantes sobre el sistema nervioso central mejorando el rendimiento deportivo y disminuyendo la fatiga muscular. Objetivo: Investigar el efecto agudo de la cafeína sobre el tiempo de reacción y actividad muscular del músculo cuádriceps en una patada circular Dollyo Chagi en taekwondistas. Métodos: 13 taekwondistas ingirieron 5 mg·kg<sup>-1</sup> de cafeína o placebo. El tiempo de reacción y la actividad muscular se midieron 60 min previo a la ingesta de cafeína o placebo, 60 min después de la ingesta y posterior a un estímulo fatigante. Se utilizó electromiografía (EMG) de superficie para medir la amplitud de la señal EMG y el tiempo de reacción en el músculo recto femoral, vasto lateral, vasto medial y bíceps femoral durante la ejecución de una patada circular asociada a un estímulo sonoro. Resultados: La ingesta de cafeína redujo un 29% el tiempo de reacción en el músculo recto femoral 60 min después de la ingesta ( $P < 0.05$ ) y tan solo un 5.5% después del estímulo fatigante ( $P > 0.05$ ). No se encontró disminución del tiempo de reacción en otros músculos evaluados. No se observaron cambios en la amplitud EMG en ninguna de las condiciones. Conclusión: La suplementación con cafeína mejoraría el tiempo de reacción de una patada circular Dollyo Chagi antes y después de un estímulo fatigante en taekwondistas.

**Palabras clave:** deportes de contacto; activación muscular; fatiga; suplementación; ayuda ergogénica.

#### **Abstract**

Caffeine is considered an enhancing aid and most consumed in sports, mainly due to its stimulant properties on the central nervous system, improving athletic performance and decreasing muscle fatigue. Objective: The aim of this study was to investigate the acute effect of caffeine on the reaction time and muscle activity of a Dollyo Chagi kick in taekwondo fighters. Methods: Thirteen taekwondo fighters ingested either 5 mg of caffeine per kg of body mass or a placebo. Reaction time and muscle activity were measured 60 min before the intake of caffeine or placebo, 60 min after ingestion and after a fatigue stimuli. Surface electromyogram (sEMG) amplitude, and time of reaction of the muscles rectus femoris, vastus lateralis, vastus medialis and biceps femoris during a circular kick related to a sound stimulus were measured. Results: Caffeine ingestion decreased the reaction time of the rectus femoris muscle 60-minutes after ingestion of caffeine and after strenuous stimulation ( $P < 0.05$ ). No significant decrease in reaction time was observed in other muscles. Furthermore, no changes in muscles activity in any other muscles were found. Conclusion: Caffeine supplementation in taekwondo athletes could reduce the reaction time of a Dollyo Chagi round kick after 60 minutes of ingestion and after a fatigue stimuli.

**Key words:** combat sports; muscle activity; fatigue; ergogenic aid; supplementation.

Correspondencia/correspondence: Luis Peñailillo

Laboratorio de Ciencias del Ejercicio, Escuela de Kinesiología, Facultad de Medicina, Universidad Finis Terrae. Chile

Email: lpenailillo@uft.cl

## Introducción

La cafeína es un alcaloide de la familia de las xantinas metiladas y debido a sus propiedades estimulantes y anti-somníferas es considerada una de las drogas más utilizadas como suplemento a nivel mundial (Heckman, Weil y Gonzalez de Mejia, 2010; Burke, 2008). En el ámbito deportivo destaca su uso para mejorar el rendimiento deportivo y su efecto retardante en la fatiga muscular (Heckman y col., 2010; Jin Yoo, Hoon Choi, Gyoon Lee, Kyun Kang y Park, 2014). La cafeína aumenta sus niveles plasmáticos entre los 15-45 minutos después de su ingesta (Heckman y col., 2010; Doherty y Smith, 2004) y alcanza su máxima concentración a los 60 minutos post-ingesta (Burke, 2008; Goldstein y col., 2010; Bortolotti, Altimari, Vitor-Costa y Cyrino, 2014). Su principal efecto se ha observado actuando sobre el sistema nervioso central (SNC), donde actúa como antagonista de la adenosina, lo que se traduce en una mejora del estado de alerta, disminución de la fatiga, mejora de la capacidad cognitiva y estado de ánimo (Sokmen y col., 2008; Doherty y Smith, 2004). La cafeína también ha demostrado tener un efecto dosis dependiente, en donde la dosis más utilizada entre deportistas varía entre 3-6 mg·kg<sup>-1</sup> de masa corporal (Burke, 2008; Doherty y Smith, 2004), aunque su consumo mantenido en el tiempo ha demostrado generar tolerancia, disminuyendo su efecto (Reissig, Strain y Griffiths, 2009).

En el ámbito deportivo, la ingesta de cafeína ha mostrado efectos beneficiosos en deportes de larga duración (Burke, 2008; O'Rourke, O'Brien, Knez, y Paton, 2008; Jeukendrup y Gleeson, 2009; Bishop, 2010), pero también han sido observados en especialidades deportivas que requieren esfuerzos cortos de alta intensidad (Burke, 2008; Goldstein y col., 2010), velocidad, y potencia (Foskett, Ali, y Gant, 2009; Glaister y col., 2008; Schneiker, Bishop, Dawson, y Hackett, 2006; Mujika y Burke, 2011), evidenciando una capacidad para retrasar la fatiga muscular (Green y col., 2007). El mecanismo de acción de la cafeína sobre los movimientos de alta intensidad y corta duración, ha sido explicado principalmente a través de los efectos sobre la activación del SNC y sistema nervioso periférico (SNP), y su consecuente mejora en la función neuromuscular y contracción muscular (Jeukendrup y Gleeson, 2009). A su vez, estudios que utilizaron electromiografía de superficie (sEMG) demostraron que el uso de cafeína indujo un 3.5% de aumento en la fuerza voluntaria máxima (MVC), especulando que la cafeína afecta la activación de las unidades motoras durante la contracción muscular (Kalmar y Cafarelli, 1999). Sin embargo, la evidencia sobre sus efectos en ejercicios de alta intensidad y corta duración es limitada (Bishop, 2010). Por lo tanto, es necesario el desarrollo de más estudios en esta área y específicamente aplicados a otras disciplinas deportivas en donde la capacidad explosiva y rapidez son fundamentales, tales como las artes marciales.

El taekwondo es un deporte de características intermitentes, donde se alternan movimientos de alta y mediana intensidad. Dentro de los movimientos de mayor intensidad, destaca la velocidad de las patadas, herramienta principal de ataque para esta especialidad (Matsushige, Hartmann y Franchini, 2009). Adicionalmente, se ha propuesto que el tiempo de reacción ante un ataque o defensa puede ser un factor determinante en la definición de un combate (Matsushige y col., 2009; Santos y col., 2014). Santos y col. (2014) evaluaron la ingesta de 5 mg·kg<sup>-1</sup> de cafeína y su efecto en el tiempo de reacción y rendimiento en dos combates simulados de taekwondo. Estos investigadores reportaron que el consumo de cafeína disminuyó el tiempo de reacción en un 11.9% antes del primer combate, pero estos efectos no fueron observados una vez terminado el combate. A pesar de todo, el efecto ergogénico de la

cafeína en artes marciales y deportes de combate ha sido poco estudiado. Por lo tanto, el propósito de esta investigación fue examinar el efecto agudo del consumo de cafeína en el tiempo de reacción y sus efectos en la actividad electromiográfica de una patada circular “Dollyo Chagi” en taekwondistas.

## Materiales y métodos

### Participantes

Trece taekwondistas voluntarios sanos, pertenecientes a las categorías medio (69 - 75 kg; n=8), pesado (81 - 91 kg; n=4) e hiper (> 91 kg; n=1); de  $22.8 \pm 4.7$  años,  $79.4 \pm 11.5$  kg de masa corporal y con  $3.7 \pm 1.8$  años de experiencia de combate fueron incluidos en el estudio. Se consideraron en el estudio aquellos taekwondistas que realizaban un entrenamiento propio de la disciplina mayor a 6 horas/semana, 3-4 sesiones de entrenamiento por semana y que hubiesen competido activamente a nivel nacional y/o internacional en los últimos 6 meses. Aquellos sujetos con diagnóstico de alguna enfermedad crónica no transmisible (diabetes mellitus tipo 2 e hipertensión arterial) o patología cardíaca fueron excluidos del estudio. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado antes de participar en el estudio, el cual fue aprobado por el Comité Ético-Científico de la Universidad Finis Terrae.

### Diseño experimental

Los participantes fueron citados al laboratorio en dos ocasiones con un tiempo de separación de una semana entre cada visita. La primera visita consistió en una familiarización al protocolo de evaluación, además de la realización de una encuesta alimentaria de tendencia de consumo cuantificada para verificar el consumo de cafeína y otros derivados xantínicos en la dieta. La segunda visita consistió en la realización del protocolo experimental (Figura 1). En una randomización aleatoria doble ciega usando el método de bloques, los sujetos fueron separados en dos grupos: un grupo (Cafeína; n=6) que consumió  $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  de cafeína y otro que consumió placebo a base de 10 mg de celulosa (Placebo; n=7). El tiempo de reacción (TTR) y actividad muscular, evaluada mediante electromiografía de superficie (sEMG), fueron medidos previo a la ingesta de cafeína (TTR1), 60 minutos después de la ingesta de cafeína o placebo (TTR2), y al finalizar un estímulo fatigante (TTR3). Previo a las mediciones de TTR1, se realizó un calentamiento previo (CP1) basado en el protocolo de Villani (Villani, De Petrillo y Distazo, 2007). Luego, previo a medir TTR2, también se realizó un calentamiento (CP2) en cicloergómetro (ISO7000, SCIFIT) de 5 min a 60 W.

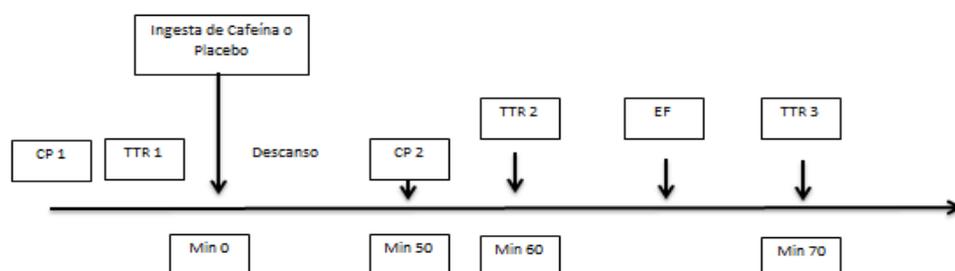


Figura 1. Diseño Experimental. CP1: calentamiento previo de 15 minutos, CP2: calentamiento previo de 5 minutos, TTR: test de tiempo de reacción, EF: estímulo fatigante.

### *Evaluación de Tiempo de Reacción*

La medición del tiempo de reacción fue realizada a través del análisis de la electromiografía de superficie (sEMG) como fue reportada por Papadopoulos, Nikolopoulos y Athanasopoulos (2008). En resumen, sobre un cuadro dibujado en el piso, se les solicitó a los participantes posicionarse de pie, sin zapatos y con ambas piernas en posición para la ejecución de la patada circular. Se definió como pierna dominante la pierna preferida para patear un balón de fútbol. Se utilizó un estímulo sonoro para dar la señal de inicio de la patada. El uso de un estímulo sonoro ha sido utilizado en estudios previos que han investigado la efectividad de una patada circular en taekwondistas (Thibordee y Prasartwuth, 2014) o han evaluado el tiempo de reacción ante estímulos visuales o sonoros (Pérez-Tejero, Soto-Rey, Rojo-González; 2011). Ante el estímulo sonoro, el deportista fue instruido a ejecutar una patada circular Dollyo Chagi lo más rápido posible. Los participantes repitieron esta patada tres veces con un tiempo de descanso de 5 segundos entre cada una. Se utilizó la mejor patada para los análisis estadísticos. El estímulo sonoro fue sincronizado a través del software MyoMuscle con la recolección de sEMG, el cual registró el tiempo utilizado por el atleta para responder al estímulo. El tiempo de reacción fue definido como el tiempo transcurrido entre el estímulo sonoro y el inicio de la patada, para esto se consideró el inicio de la patada como la primera señal sEMG superior a dos desviaciones estándar de la amplitud de la señal sEMG en reposo tal y como fue reportado en un estudio previo (Papadopoulos y col., 2008).

### *Electromiografía de superficie (sEMG)*

El posicionamiento de los electrodos de la sEMG estudio se establecieron según el protocolo descrito por Thibordee y Prasartwuth (2014) y los lineamientos del proyecto Surface electroMyoGraphy for the non-invasive assessment of muscles (SENIAM). Se evaluaron los músculos recto femoral, vasto lateral, vasto medial y bíceps femoral. Para el registro y análisis de la señal sEMG se utilizó un electromiógrafo Myomuscle (Noraxon, EEUU). La captura de la señal de sEMG se realizó a una frecuencia de muestreo de 3000 Hz y un filtro lowpass de 500 Hz. La señal sEMG fue luego rectificadas y filtrada usando una suavización de ventanas de raíz media cuadrática (root mean square; RMS) de 50 ms, para la actividad muscular sEMG, se analizó el pico de la amplitud EMG el que fue extraído de la señal sEMG durante la contracción muscular (“burst”) de cada patada. Este análisis permitió evaluar y registrar la actividad muscular involucrada en este movimiento.

### *Estímulo fatigante: saltos continuos*

Para simular un estímulo fatigante estandarizado, se realizó una serie de saltos verticales del tipo contra movimiento (CMJ) máximos durante 60 segundos, el que fue repetido tres veces con 30 segundos de descanso entre cada serie. Dicho estímulo fatigante fue utilizado en investigaciones previas como estímulo estandarizado para inducir fatiga (Bosco, Luhtanen y Komi, 1983).

### *Análisis estadístico*

Los resultados serán presentados en promedios  $\pm$  desviación estándar (DE). Para la comparación entre las dos condiciones (cafeína, placebo) y el tiempo de reacción (TTR1, TTR2, TTR3) se realizó un análisis de varianza de dos vías (ANOVA) con medidas repetidas. Ante un efecto de interacción (condición x tiempo) significativo, se utilizó el post hoc test de Fisher's LSD. El nivel de significancia se fijó en  $P < 0.05$ . Todos los análisis se realizaron utilizando el software PAWS 21 (SPSS, IBM inc.).

## Resultados

### Tiempo de Reacción

El músculo recto femoral mostró un efecto significativo de interacción (condición x tiempo) ( $P=0.004$ ). El grupo que consumió cafeína mejoró su tiempo de reacción en un 29% a los 60 min post-ingesta (de  $0.91 \pm 0.18$  s a  $0.65 \pm 0.17$  s;  $P=0.004$ ), y tras el estímulo fatigante, mejoró disminuyendo en un 25% (de  $1.04 \pm 0.13$  s a  $1.30 \pm 0.14$  s;  $P=0.003$ ). Por otro lado, el grupo que consumió placebo no presentó cambios significativos en su tiempo de reacción (de  $1.04 \pm 0.13$  s a  $1.08 \pm 0.08$  s;  $P=0.38$ ) a los 60 min post ingesta. Así, al comparar el tiempo de reacción de ambos grupos, se observaron diferencias significativas a los 60 m post ingesta ( $P=0.002$ ) y tras el estímulo fatigante ( $P=0.004$ ). El análisis para los otros músculos en estudio no mostró un efecto significativo de interacción entre el uso de cafeína o placebo y el tiempo de reacción ( $P > 0.05$ ) (Figura 2).

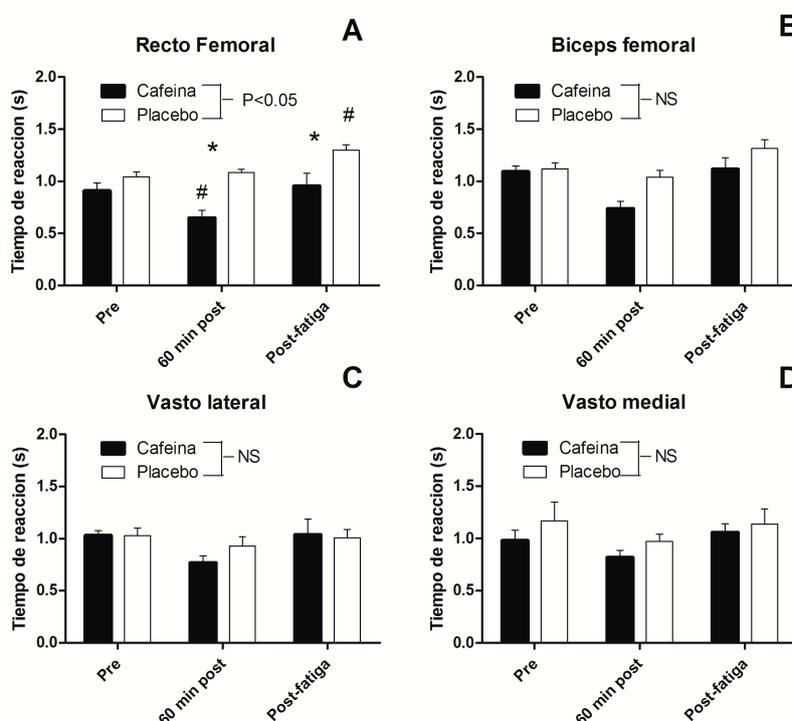


Figura 2. Tiempo de reacción medido en el músculo recto femoral (A), bíceps femoral (B), vasto lateral (C) y vasto medial (D) en los tres tiempos de evaluación (pre, 60 minutos post-ingesta y después de estímulo fatigante) para el grupo cafeína (negro) y placebo (blanco). Los valores representan el promedio  $\pm$  DE; \*:  $P < 0.05$  entre grupos; #:  $P < 0.05$  en comparación con Pre.

### Actividad electromiográfica

La activación de los músculos en estudio fue evaluada a través de la amplitud muscular de la señal sEMG. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre el uso de cafeína o placebo y la activación muscular de ningún músculo evaluado ( $P > 0.05$ ) (Figura 3).

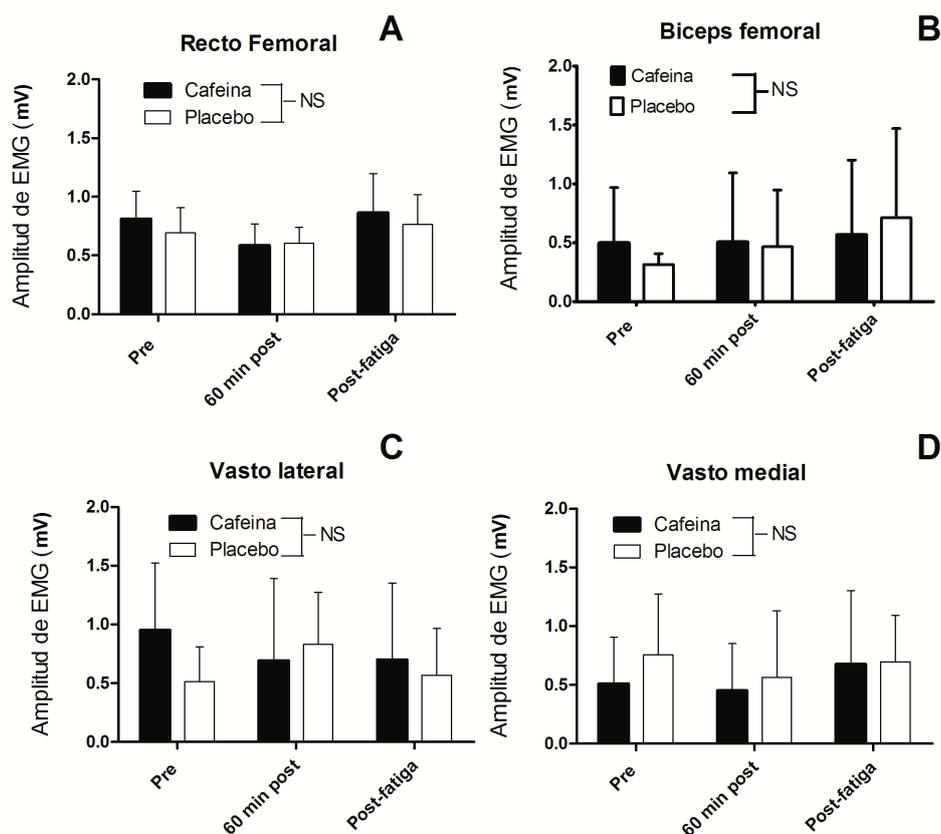


Figura 3. Amplitud de EMG (mV) para el músculo bíceps femoral (A), recto femoral (B), vasto lateral (C) y vasto medial (D) en los tres distintos tiempos (Pre, 60 minutos post ingesta y después de estímulo fatigante) en grupo cafeína (negro) y placebo (blanco). Los valores representan el promedio  $\pm$  DE.

## Discusión

La presente investigación examinó el efecto del consumo de  $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  de cafeína sobre el tiempo de reacción y actividad muscular en una patada circular Dollyo Chagi en taekwondistas. Los resultados mostraron que el consumo de cafeína mejoró un 29% el tiempo de reacción en el músculo recto femoral 60 minutos después de la ingesta en comparación con el grupo placebo. Además, aquellos deportistas que consumieron cafeína, enlentecieron su velocidad de reacción solamente en un 5.5% después del estímulo fatigante, en comparación con el grupo que consumió placebo quienes aumentaron su tiempo de reacción en un 25%. Así, nuestros resultados sugieren un efecto ergogénico de la cafeína sobre el tiempo de reacción y atenuación de la fatiga muscular en taekwondistas. Sin embargo, esta mejora en el rendimiento no se vio reflejada en cambios de la actividad electromiográfica de los músculos del cuádriceps.

Nuestros resultados reportan que el músculo recto femoral mejoró significativa el tiempo de reacción posterior a la ingesta de cafeína y después del estímulo fatigante, pero esta mejora no fue evidente en los músculos vasto medial y bíceps femoral ( $P > 0.05$ ). Nuestros resultados concuerdan con los estudios previos de Thibordee y Prasartwuth (2014), Papadopoulos y col. (2008) y de Falco y col. (2009) quienes observaron que existe una mayor activación del recto femoral en la fase de pre-impacto durante una patada circular en taekwondistas, siendo este músculo el principal responsable de la ejecución de esta patada. Por lo tanto, nuestros

resultados encontrados en el recto femoral reflejan un posible efecto ergogénico de la cafeína en el rendimiento deportivo, relacionado específicamente en la disminución del tiempo de reacción para la ejecución de la patada circular Dollyo Chagi en taekwondistas.

La mejora en el tiempo de reacción tras el consumo de cafeína es semejante a lo reportado por Soussi y col. (2012), los que reportaron que la ingesta de  $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  de cafeína disminuyó significativamente en 0.04 ms el tiempo de reacción simple en la respuesta motora ante un estímulo visual. De igual modo, Santos y col. (2014) observaron una disminución significativa del 11.9% en el tiempo de reacción en la ejecución de una patada “Bandal Chagi” previo a un combate y mejoras en la intensidad del combate en el grupo que ingirió cafeína, para esto se evaluó puntos obtenidos, tiempo y números de ataque, tiempo de saltos y pausas realizadas durante un combate. Los autores mencionados concluyeron que la ingesta de cafeína retrasa la fatiga muscular e influye en el rendimiento en deportistas de combate, disminuyendo sus tiempos de reacción. Nuestros resultados están en línea con estos estudios previos, evidenciando una disminución en el tiempo de reacción, tanto antes como después del estímulo fatigante. Además, nuestros resultados muestran un posible efecto en el retraso de la fatiga muscular, debido a que aquellos deportistas que consumieron cafeína, aumentaron su tiempo de reacción tan solo en un 5.5% posterior al estímulo fatigante en comparación al 25% de retraso del grupo placebo. Asimismo, nuestros resultados son concordantes con la propiedad de retrasar la fatiga que han sido atribuidas a la cafeína (Burke, 2008; Simmonds, Minahan y Sabapathy, 2010; Roberts, Stokes, Trewartha y Doyle, 2010). Considerando que el taekwondo es un deporte en el que los movimientos de alta intensidad deben ser repetidos durante una pelea, y en donde se podrían realizar varios combates en un mismo día de torneo, el potenciar variables como la potencia, la velocidad y el tiempo de reacción, así como prevenir la fatiga muscular pueden actuar como factores claves al momento de enfrentar una competencia (Santos, Franchini y Lima, 2011).

En relación al efecto ergogénico de la cafeína, Spriet (2014) menciona que los estudios disponibles sobre cafeína y rendimiento deportivo con dosis entre 5 y  $6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  muestran efectos positivos sobre en el rendimiento en diversas disciplinas deportivas. Por ejemplo, la ingesta de  $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  de cafeína ha mostrado aumentar la potencia y la velocidad en sujetos entrenados (Stuart, Hopkins, Cook y Cairns, 2005; Spriet, 2014). En cuanto a los efectos positivos de la cafeína que afectan el rendimiento en los deportes de combate y que podrían influir sobre el tiempo de reacción, se destaca su capacidad para mejorar variables como la concentración y el estado de vigilancia, procesos fundamentales para un taekwondista y de gran importancia durante un combate (Goldstein y col., 2010; Fredholm, Bättig, Holmén, Nehlig y Zwartau, 1999), los cuales en conjunto con la disminución en el tiempo de reacción ante un estímulo podrían mejorar el rendimiento de estos atletas.

Uno de los mecanismos especulados mediante el cual la cafeína podría mejorar el tiempo de reacción y disminuir la fatiga muscular ha sido atribuida a la capacidad de potenciar procesos a nivel supraespinal relacionados con el estado de vigilia y atención (Wiles, Coleman, Tegerdine y Swaine, 2006). Previos estudios han mostrado que la cafeína induce bloqueo de los receptores de adenosina, activación del SNC, aumento de la actividad de la bomba  $\text{Na}^{++} - \text{K}^{+}$ , el aumento de la movilización intracelular de calcio y el aumento de la concentración plasmática de las catecolaminas, lo cual podría inducir mejoras en el tiempo de reacción (Bishop, 2010). Además, se ha especulado que su efecto como antagonista de la adenosina sería el efecto que explica mejor sus beneficios, ya que esto contribuye a una mayor liberación de neurotransmisores, aumentando la activación de la unidad motora, mejorando

así la transmisión neuronal en el músculo (Bishop, 2010 ; Kalmar, 2005). Sin embargo, nosotros no observamos diferencias en la activación electromiografía (amplitud pico del sEMG) entre los grupos de cafeína y placebo, y especulamos que la mejora en los tiempos de reacción se debió a una mejora de los estados de atención y vigilia, más que a cambios intramusculares. Esto, no fue directamente evaluado por este estudio y podría ser un futuro foco de investigación acerca de la ingesta de cafeína en deportes de combate.

Si bien la información disponible que relacionan directamente la amplitud de la señal sEMG con la ingesta de cafeína es muy limitada. Greer, Morales y Coles (2006) reportaron que la ingesta de cafeína no afectó la frecuencia media de la sEMG en una prueba de alta intensidad en condiciones de pre- y post- fatiga. Sin embargo, otro estudio reportó que  $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de ingesta de cafeína mejoró la actividad muscular durante contracciones máximas voluntarias (MVC) medidas a través del RMS de la amplitud sEMG. Estos autores especularon que los efectos a nivel central y periféricos del sistema nervioso, fueron específicamente sobre la inhibición del receptor de adenosina y a la mayor activación de unidades motoras a nivel supraespinal (Bazzucchi, Felici, Montini, Figura y Sacchetti, 2011). Sin embargo, nuestros resultados no arrojaron diferencias significativas en relación al efecto de la cafeína sobre la activación muscular entre ambos grupos. Por lo tanto, más estudios son necesarios para dilucidar los efectos de la cafeína sobre la activación muscular.

Dentro de las limitantes de este estudio es necesario mencionar que el tiempo de reacción solo consideró un estímulo auditivo y la activación muscular. Además, el efecto sobre la fatiga se evaluó realizando una sola medición inmediatamente posterior a la prueba fatigante. Sin embargo, debido a las características del deporte y el objetivo del presente estudio, una evaluación fue considerada suficiente debido a que más tiempo hubiera cambiado los estadios de fatiga de los deportistas o más evaluaciones pudiesen haber inducido mayor fatiga a estos deportistas. En relación al estímulo fatigante, este fue una prueba de saltos verticales CMJ continuos y reconocemos que este se encuentra alejado tanto de la gestualidad del movimiento evaluado como de una situación de combate real, pero esta fue realizada para estandarizar este estímulo fatigante entre los deportistas. Proponemos para otros estudios que sería interesante realizar un protocolo similar cuantificado un combate simulado o en un entrenamiento evaluando variables fisiológicas y de rendimiento para cuantificar la carga interna de los deportistas.

En resumen, los resultados encontrados en el presente estudio muestran que la suplementación con cafeína ( $5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) en taekwondistas mejora el tiempo de reacción de una patada circular Dollyo Chagi en el músculo recto femoral a los 60 minutos de la ingesta y también podría tener un efecto positivo en la respuesta posterior a un estímulo fatigante. Nuestros resultados sugieren un efecto positivo de la cafeína en la mejora del tiempo de reacción y posiblemente retrasando la fatiga muscular. De esta forma, nuestros resultados son un aporte a la investigación en el área de los deportes de combate, considerando en primer lugar la escasa información en el área y también a que las variables como el tiempo de reacción y la fatiga muscular son fundamentales para los taekwondistas y se relacionan directamente con la mejora del rendimiento deportivo durante un combate.

## Referencias

- 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.  
<https://doi.org/10.1002/mus.21995>
- Bishop, D. (2010). Dietary supplements and team-sport performance. *Sports Medicine*, 40(12), 995-1017.  
<https://doi.org/10.2165/11536870-000000000-00000>
- Bortolotti, H.; Altimari, L.; Vitor-Costa, M.; & Cyrino, E. (2014). Performance during a 20-km cycling time-trial after caffeine ingestion. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11(45), 1-7.  
<https://doi.org/10.1186/s12970-014-0045-8>
- Bosco, C.; Luhtanen, P.; & Komi, P. (1983). A Simple Method for Measurement of Mechanical Power in Jumping. *European Journal Applied Physiology Occupational Physiology*, 50(2), 273-282.  
<https://doi.org/10.1007/BF00422166>
- Burke, L. (2008). Caffeine and sports performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33(6), 1319-1334.  
<https://doi.org/10.1139/H08-130>
- Doherty, M., & Smith, P. (2004). Effects of Caffeine Ingestion on Exercise Testing: A Meta-Analysis. *International Journal of Sport Nutrition & Exercise Metabolism*, 14(6), 626-646.  
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.14.6.626>
- Falco, C.; Alvarez, O.; Castillo, I.; Estevan, I.; Martos, J.; Mugarra, F. & Iradi A. (2009). Influence of the distance in a roundhouse kick's execution time and impact force in Taekwondo. *Journal of Biomechanics* 42(3), 242-248.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.10.041>
- Foskett, A.; Ali, A., & Gant, N. (2009). Caffeine enhances cognitive function and skill performance during simulated soccer activity. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 19(4), 410-423.  
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.19.4.410>
- Fredholm, B.; Bättig, K.; Holmén, J.; Nehlig, A., & Zwartau, E. (1999). Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use. *Pharmacological Reviews*, 51(1), 83-133.
- Glaister, M.; Howatson, G.; Abraham, C.; Lockey, R.; Goodwin, J.; Foley, P., & McInnes G. (2008). Caffeine supplementation and multiple sprint running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 10(40), 1835-1840.  
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.19.4.410>
- Goldstein, E.; Ziegenfuss, T.; Kalman, D.; Kreider, R.; Campbell, B.; Wilborn, C.; Taylor L.; Willoughby D.; Stout J.; Graves BS.; Wildman R.; Ivy JL.; Spano M.; Smith AE., & Antonio J.; (2010). International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. *International Society of Sports Nutrition*, 7(5), 1-15.  
<https://doi.org/10.1186/1550-2783-7-5>
- Green, J.; Wickwire, P.; McLester, J.; Gendle, S.; Hudson, R.; Pritchett, R., & Laurent CM. (2007). Effects of caffeine on repetitions to failure and ratings of perceived exertion during resistance training. *International journal of sports physiology and performance*, 2, 250-259.  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2.3.250>

- Greer, F.; Morales, J., & Coles, M. (2006). Wingate performance and surface EMG frequency variables are not affected by caffeine ingestion. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 31(5), 597-603.  
<https://doi.org/10.1139/h06-030>
- Heckman, M.; Weil, J., & Gonzalez de Mejia, E. (2010). Caffeine (1, 3, 7-trimethylxanthine) in Foods: A Comprehensive Review on Consumption, Functionality, Safety, and Regulatory Matters. *Journal of food science*, 75(3), R77-87.  
<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01561.x>
- Jeukendrup, A., & Gleeson, M. (2009). Sport nutrition: an introduction to energy production and performance. En A. Jeukendrup, & M. Gleeson, Sport nutrition: an introduction to energy production and performance. *Human Kinetics*.
- Jin Yoo H.; Hoon Choi, G.; Gyoon Lee, M.; Kyun Kang, C., & Park, H. (2014). Verification of efficacy as an ergogenic aid and safety in doping of sibjeondaeho-tang. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 18(2), 189-195.  
<https://doi.org/10.5717/jenb.2014.18.2.189>
- Kalmar, J. (2005). The Influence of Caffeine on Voluntary Muscle Activation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37 (12), 2113-2119.  
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000178219.18086.9e>
- Kalmar, J., & Cafarelli, E. (1999). Effects of caffeine on neuromuscular function. *Journal of Applied Physiology*, 87(2), 801-8.
- Matsushige, K.; Hartmann, T., & Franchini, E. (2009). Taekwondo: Physiological responses and match analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(4), 1112 - 1117.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a3c597>
- Mujika, I., & Burke, L. (2011). Nutrition in team sports. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 57(2), 26-35.
- O'Rourke, M.; O'Brien, B.; Knez, W., & Paton, C. (2008). Caffeine has a small effect on 5-km running performance of well-trained and recreational runners. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(2), 231-233.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.12.118>
- Papadopoulos, E.; Nikolopoulos, C., & Athanasopoulos, S. (2008). The effect of different skin-ankle brace application pressures with and without shoes on single-limb balance, electromyographic activation onset and peroneal reaction time of lower limb muscles. *Foot (Edinburgh, Scotland)*, 18(4), 228-236.  
<https://doi.org/10.1016/j.foot.2008.06.003>
- Pérez-Tejero, J.; Soto-Rey, J., y Rojo-González, J. (2011). Estudio del tiempo de reacción ante estímulos sonoros y visuales. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 27, 149-162.
- Reissig, C.; Strain, E., & Griffiths, R. (2009). Caffeinated energy drinks: a growing problem. *Drug and Alcohol Dependence*, 99(1-3), 1-10.  
<https://doi.org/10.1016/j.drugaldep.2008.08.001>
- Roberts, S.; Stokes, K.; Trewartha, G., & Doyle, J. (2010). Effects of carbohydrate and caffeine ingestion on performance during a rugby union simulation protocol. *Journal of Sports Science*, 28(8), 833-842.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2010.484069>

- Santos, V.; Franchini, E.; Lima-Silva, AE. (2011). Relationship between attack and skipping in Taekwondo contests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(6), 1743-1751.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ddfb0f>
- Santos, V.; Santos, V.; Felipe, L.; Almeida, J.; Bertuzzi, R.; Kiss, M., & Lima-Silva, A. (2014). Caffeine Reduces Reaction Time and Improves Performance in Simulated-Contest of Taekwondo. *Nutrients*, 6(2), 637-649.  
<https://doi.org/10.3390/nu6020637>
- Schneiker, K.; Bishop, D.; Dawson, B., & Hackett, L. (2006). Effects of caffeine on prolonged intermittent-sprint ability in team-sport athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(3), 578-585.  
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000188449.18968.62>
- Simmonds; M.; Minahan, C., & Sabapathy, S. (2010). Caffeine improves supramaximal cycling but not the rate of anaerobic energy release. *European journal of applied physiology*, 109(2), 287-295.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-009-1351-8>
- Sokmen, B.; Armstrong, L.; Kraemer, W., & Casa, D. (2008). Caffeine use in sports: Considerations for the athlete. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 978-986. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181660cec>
- 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 Journal of Sports Medicine*, 3(3), 161-168.  
<https://doi.org/10.5812/asjasm.34607>
- Spriet, L. (2014). Exercise and Sport Performance with Low Doses of Caffeine. *Sports Medicine*, 44(2), 175-184.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-014-0257-8>
- Stuart, G.; Hopkins, W.; Cook, C., & Cairns, S. (2005). Multiple effects of caffeine on simulated high-intensity team-sport performance. *Medicine and Science and Sports and Exercise*, 37(11), 1998-2005.  
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000177216.21847.8a>
- Tarnopolsky, M., & Cupido, C. (2000). Caffeine potentiates low frequency skeletal muscle force in habitual and nonhabitual caffeine consumers. *Journal of Applied Physiology*, 89(5), 1719-1724.
- Thibordee, S., & Prasartwuth, O. (2014). Effectiveness of roundhouse kick in elite Taekwondo athletes. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 24(3), 353-358.  
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2014.02.002>
- Villani, R.; De Petrillo, D; & Distaso, M. (2007, Julio). Influence of four different methods of training on the specific rapidity of taekwondo. Poster presentando en el XIIº Congreso Anual del European College of Sports Science, Finlandia.
- Wiles, J.; Coleman, D.; Tegerdine, M., & Swaine, I. (2006). The effects of caffeine ingestion on performance time, speed and power during a laboratory-based 1 km cycling time-trial. *Journal of Sports Science*, 24(11), 1165-1171.  
<https://doi.org/10.1080/02640410500457687>