



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE  
FACULTAD DE SALUD

**ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS FÍSICOS, FISIOLÓGICOS  
Y NOTACIONALES DETERMINANTES EN BALONCESTO  
Y UTILIZACIÓN DE LA CAFEÍNA  
COMO AYUDA ERGOGÉNICA**

**TESIS DOCTORAL**

AUTOR

CARLOS PUENTE TORRES

Graduado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (UCLM)

Máster en Formación del Profesorado en Educación Secundaria Obligatoria,  
Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas (UCM)

DIRECTORES

DR. JUAN DEL COSO GARRIGÓS

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (UCLM)

DR. JAVIER ABIÁN VICÉN

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (UCLM)

Madrid, 2017



*A mi padre, a mi madre, a Alex.  
A Juan y a Javi.*



## AGRADECIMIENTOS

---

En primera instancia, me gustaría agradecer a todas las personas e instituciones que directa o indirectamente han hecho posible esta Tesis Doctoral. A la Universidad Camilo José Cela.

A todos los que alguna vez recordaron que me hacía falta un empujón, que cada vez quedaba menos: a los viejos y a los nuevos amigos y compañeros. A los de siempre. Gracias por vuestras muestras de cariño, comprensión, apoyo, ánimo y confianza. A aquellos que aman el baloncesto y están cerca de mí, porque es lo que nos une.

Agradecido a jugadores, jugadoras y clubs de baloncesto que decidieron participar en los diferentes estudios. A los “monstruos” que compitieron con un GPS a la espalda en el Madrid Lavapiés Streetball Champs Tournament. A “mis cadetes” que jugaron el Campeonato de España aquel año, a mi paso por el Club Baloncesto Fuenlabrada. A “mis jugadores fuenlapiarleños” del Club Baloncesto La Paz. A aquellas chicas que jugaban un baloncesto delicioso en el Club Baloncesto Fundal Alcobendas. Gracias a todos/as por confiar en mí y en mis locuras. Por ajustarse a unas dietas, a unas rutinas y estándares impuestos. Por tomar cafeína. Por la orina y por la sangre.

Aprovecho para reconocer a todas aquellas personas que de forma desinteresada o no, permiten que la Ciencia siga avanzando.

En deuda con todos y cada uno de los miembros del Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la UCJC. Un verdadero ejemplo de trabajo en equipo, grandes compañeros:

... Organización. Creatividad. Confianza. Objetivos. Agradecimientos. Resultados. Responsabilidad. Éxito. Convivencia. Ambiente. Opinión. Solidaridad. Compromiso. Unidad. Talento. Comunicación. Diversidad ... escuchar, delegar, desarrollar, aprender ...

A Bea, JJ y Pacho por vuestra eterna sonrisa, amabilidad, ayuda, disponibilidad, por vuestro altruismo siempre desinteresado. Por eso y porque en mi portada faltan 3 nombres. Gracias.

A Javi. Llamadas, mensajes y correos; por la mañana, por la tarde, por la noche. Por tu capacidad de trabajo. Un minuto o media hora. Entre Toledo y Madrid nunca hubo distancia. Por descubrirme este fantástico mundo lleno de datos, de información y horas de dedicación. Porque empecé contigo y continué gracias a ti. Por tus ideas, sugerencias, aportaciones. Tu afabilidad, sencillez y conocimiento. Gracias.

A Juan. Tiempo para todo y para todos. Torbellino académico y humano. Consigue mover las piezas para que encajen a la perfección con cada persona, en cada situación. Aquél, con las palabras modestia, honestidad, constancia y esfuerzo tatuadas en la frente. Aquél, que con esos valores por bandera, siempre sobrevuela por encima de muchos o de casi todos. Aquél, el mejor líder, el compañero perfecto, el tutor que todo doctorando quisiera tener. Gracias.

Por vuestra confianza, creé una carpeta eterna llamada "Investigación", cuya actualización será para mí de obligado cumplimiento. Porque yo quiero. Gracias a los dos.

*A mi padre, "... ni una sola torta, ni un castigo. Nunca hubo gritos ni exasperación. Tu calma y tu perfecto silencio, tu confianza y bondad. Tu humildad. Atributos de una persona imperfecta que me ayudaron a dejar de ser un niño y que hoy me hacen ser quién soy, tu hijo ..."*

Gracias mamá por ser mi madre. Gracias por cubrir día a día todas las necesidades que requiere un hijo, especialmente, por el amor incondicional que demuestras y desprendes cada mañana que te levantas, cada vez que te vas a dormir. Por ser una bomba emocional, por ser tú, mi madre, y por siempre mi mejor profesora.

A mi hermano, por aguantarme y quererme. Gracias por los consejos, la compañía, el trabajo en equipo. Porque aprendí, aprendo y aprenderé siempre estando a tu lado. Aprovecha siempre la vida y disfruta del placer de las pequeñas cosas. No hay nada más importante que ser feliz. Siempre, ahorra y rescata tiempo por y para ti. La ciencia quiere llamar a tu puerta, deja que entre y ofrécele tiempo. Te mereces todo, hermano.

Podría llenar multitud de líneas de cariño y agradecimiento a LA MIFA. Gracias. Por pertenecer aleatoriamente a esta familia. Si fuese a dedo, sin duda, repetiría.

Y, por último, gracias al baloncesto.

# ÍNDICE

---

<b>1. Resumen</b>	<b>15</b>
<b>2. Abstract</b>	<b>17</b>
<b>3. Introducción</b>	<b>21</b>
3.1. Justificación	21
3.2. El baloncesto. Cargas internas y externas en competición	25
3.3. Estadísticas relacionadas con el juego en baloncesto	29
3.4. Cafeína, deporte y baloncesto	33
<b>4. Objetivos e hipótesis</b>	<b>47</b>
<b>5. Estudios aplicados</b>	<b>51</b>
5.1. Estudio 1 DEMANDAS FÍSICAS Y FISIOLÓGICAS DE JUGADORES DE BALONCESTO CON EXPERIENCIA DURANTE UN PARTIDO DE COMPETICIÓN	55
Objetivos del estudio	55
Materiales y métodos	55
Resultados	60
5.2. Estudio 2 ESTADÍSTICAS RELACIONADAS CON EL DESARROLLO DEL JUEGO EN BALONCESTO DESDE EL AÑO 2003 A 2013 EN CATEGORÍA ACB EN TEMPORADA REGULAR	63
Objetivos del estudio	63
Materiales y métodos	63
Resultados	65
5.3. Estudio 3 UNA BEBIDA ENERGÉTICA CON CAFEÍNA MEJORA EL RENDIMIENTO DEL SALTO EN JUGADORES ADOLESCENTES DE BALONCESTO	73
Objetivos del estudio	73
Materiales y métodos	73
Resultados	78

5.4. Estudio 4	
LA CAFEÍNA MEJORA EL RENDIMIENTO EN BALONCESTO EN JUGADORES SÉNIOR CON EXPERIENCIA	83
Objetivos del estudio	83
Materiales y métodos	83
Resultados	88
5.5. Estudio 5	
EL POLIMORFISMO CYP1A2-163C>A NO ALTERA LOS EFECTOS DE LA CAFEÍNA SOBRE EL RENDIMIENTO EN JUGADORES DE BALONCESTO	93
Objetivos del estudio	93
Materiales y métodos	93
Resultados	96
<b>6. Discusión</b>	<b>101</b>
<b>7. Conclusiones</b>	<b>117</b>
<b>8. Bibliografía</b>	<b>123</b>
<b>9. Anexos</b>	<b>143</b>



## Abreviaturas utilizadas

**A:** Adenina.

**AMA:** Agencia Mundial Antidopaje.

**ANOVA:** *Analysis of variance*; Análisis de la varianza.

**A.U.:** *Arbitrary Units*; Unidades Arbitrarias.

**C:** Citosina.

**CK:** Creatina quinasa.

**CMJ:** *Countermovement Jump*; Salto con contramovimiento.

**CODAT:** *Change-of-direction and Acceleration Test*; Test de cambio de dirección y aceleración.

**d:** Tamaño del efecto.

**EDTA:** Ethylenediaminetetraacetic acid; Ácido etilendiaminotetraacético.

**EFSA:** *European Food Safety Authority*; Agencia Europea de Seguridad Alimentaria.

**FC:** Frecuencia cardíaca.

**FC<sub>med</sub>:** Frecuencia cardíaca media.

**FC<sub>máx</sub>:** Frecuencia cardíaca máxima.

**GPS:** *Global Positioning System*; Sistema de Posicionamiento Global.

**HPLC:** *High-performance Liquid Chromatography*.

**ISAK:** *International Society Advancement Kinanthropometry*; Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría.

**PIR:** *Performance index rating*; Valoración.

**RPE:** *Rating of perceived exertion*; Ratio de esfuerzo percibido.

**SD:** *Standard deviation*; Desviación estándar.

**SNC:** Sistema nervioso central.

**VO<sub>2máx</sub>:** Consumo máximo de oxígeno.

**95% IC:** Intervalo de confianza del 95%.

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Ejemplo de la medición de las estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego durante un partido de baloncesto en categoría ACB.	29
<b>Figura 2.</b> GPS, acelerómetro y monitor de frecuencia cardíaca ajustado a jugadores de baloncesto.	57
<b>Figura 3.</b> Salto con contramovimiento (superior) y salto Abalakov (inferior).	57
<b>Figura 4.</b> Partido de baloncesto (5 x 5) en una pista oficial al aire libre.	58
<b>Figura 5.</b> Distancias de carrera a diferentes velocidades durante un partido de baloncesto de competición de 20 minutos de duración dependiendo de la posición de juego de los jugadores sobre la pista. Datos presentados con promedio $\pm$ SD (rango) de bases (n=8), aleros (n=8) y pívots (n=9).	62
<b>Figura 6.</b> Porcentaje del total de la varianza correspondiente al número de victorias explicado por las estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego desde el año 2003 a 2013 en categoría ACB en temporada regular.	67
<b>Figura 7.</b> Correlación entre el número real y el número de victorias previstas para las temporadas regulares 2013/2014 y 2014/2015 en categoría ACB.	67
<b>Figura 8.</b> Test del Yo-Yo de recuperación intermitente, nivel 1.	77
<b>Figura 9.</b> Altura del salto medida a través de un test de saltos con rebote durante 15 segundos realizada por 16 jugadores adolescentes de baloncesto tras la ingestión de una bebida energética con cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio $\pm$ SD para 16 jugadores adolescentes de baloncesto.	79
<b>Figura 10.</b> Ejemplo de una medida de las características antropométricas tomada a una jugadora de baloncesto.	85
<b>Figura 11.</b> Test de cambio de dirección y aceleración (CODAT).	86
<b>Figura 12.</b> Partido de baloncesto femenino simulado.	87
<b>Figura 13.</b> Altura del salto (panel superior) y tiempo de carrera (panel inferior) medidos a través del salto Abalakov y CODAT (test de cambio de dirección y aceleración) respectivamente durante 10 repeticiones tras la ingestión de cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio $\pm$ SD para 20 jugadores de baloncesto.	89
<b>Figura 14.</b> Número de impactos por minuto durante un partido de baloncesto simulado tras la ingestión de cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio $\pm$ SD para 20 jugadores de baloncesto.	90
<b>Figura 15.</b> Extracción de sangre utilizada para el posterior análisis del polimorfismo -163C>A del gen CYP1A2.	94

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Farmacocinética de la cafeína.	35
<b>Tabla 2.</b> Descripción de las principales características de los estudios llevados a cabo en esta Tesis Doctoral.	52
<b>Tabla 3.</b> Nombre de la revista, año y factor de impacto JCR de los estudios que conforman esta Tesis Doctoral.	54
<b>Tabla 4.</b> Distancias de carrera totales y a diferentes velocidades durante un partido de baloncesto de competición de 20 minutos de duración dependiendo de la posición de juego de los jugadores sobre la pista. Datos presentados con promedio $\pm$ SD (rango) de bases (n=8), aleros (n=8) y pívots (n=9).	60
<b>Tabla 5.</b> Diferentes variables analizadas en relación a las demandas físicas y fisiológicas durante un partido de baloncesto de competición de 20 minutos de duración y altura del salto medida a través de un CMJ y un salto Abalakov dependiendo de la posición de juego de los jugadores sobre la pista. Datos presentados con promedio $\pm$ SD (rango) de bases (n=8), aleros (n=8) y pívots (n=9).	61
<b>Tabla 6.</b> Correlación entre el número de victorias conseguidas y las estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego en baloncesto desde el año 2003 a 2013 en categoría ACB en temporada regular.	65
<b>Tabla 7.</b> Estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego en baloncesto de los equipos clasificados para playoffs (Playoffs), equipos que no se clasificaron para playoffs (No playoffs) y los dos últimos equipos clasificados (Categoría perdida) al finalizar la liga regular en categoría ACB. Datos presentados con promedio $\pm$ SD para 10 temporadas regulares (desde el año 2003 al 2013).	68
<b>Tabla 8.</b> Precisión (%) en tiros libres y lanzamiento de tres puntos durante dos pruebas específicas de baloncesto tras la ingestión de una bebida energética con cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio $\pm$ SD para 16 jugadores adolescentes de baloncesto.	78
<b>Tabla 9.</b> Variables de orina ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) antes y después de pruebas físicas y técnicas específicas de baloncesto tras la ingestión de una bebida energética con cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio $\pm$ SD para 16 jugadores adolescentes de baloncesto.	80
<b>Tabla 10.</b> Prevalencia (%) de los efectos secundarios durante las 24 horas posteriores a la ingestión de una bebida energética con cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio para 16 jugadores adolescentes de baloncesto.	81
<b>Tabla 11.</b> Estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego durante un partido de baloncesto simulado tras la ingestión de cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio $\pm$ SD para 20 jugadores de baloncesto.	91

**Tabla 12.** Edad y características antropométricas de 19 jugadores (10 jugadores y 9 jugadoras) de baloncesto. Datos presentados con promedio  $\pm$  SD para los homocigotos AA (n=10) y los portadores del alelo C (n=9) en el polimorfismo -163C>A del gen CYP1A2. 95

**Tabla 13.** Variables medidas a través de pruebas físicas durante 10 repeticiones (Altura del salto (salto Abalakov) y tiempo de carrera (CODAT)) y mediante un partido simulado de baloncesto de 20 minutos de duración (frecuencia cardíaca y número de impactos corporales) tras la ingestión de cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio  $\pm$  SD para los homocigotos AA (n=10) y los portadores del alelo C (n=9) en el polimorfismo -163C>A del gen CYP1A2. 97

**Tabla 14.** Prevalencia (%) de los efectos secundarios durante las 24 horas posteriores a la ingestión de cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio  $\pm$  SD para los homocigotos AA (n=10) y los portadores del alelo C (n=9) en el polimorfismo -163C>A del gen CYP1A2. 98



# RESUMEN





El análisis del rendimiento de un deporte de equipo como es el baloncesto se plantea como una tarea compleja y multifacética, pues depende de factores como la condición física de los jugadores, aspectos fisiológicos y numerosas variables notacionales durante el partido, además de aspectos ambientales, técnico-tácticos e incluso psicológicos, entre otros. Por otro lado, el uso de ayudas ergogénicas también puede influenciar notablemente sobre el rendimiento deportivo. En particular, la cafeína tiene un conocido efecto ergogénico en deportes de carácter aeróbico, pero sus beneficios no son concluyentes en los deportes que combinan esfuerzos de alta intensidad con recuperaciones y tareas complejas de precisión. Además, también se ha encontrado que hay individuos que tienen una escasa o nula respuesta fisiológica a la ingesta de cafeína. Por este motivo, el planteamiento de la presente Tesis Doctoral se ha enfocado sobre diversos aspectos con influencia en el rendimiento en baloncesto tales como la medición de las demandas físicas y fisiológicas y el análisis notacional durante el juego, además del efecto de la cafeína sobre estas variables, analizando la influencia de variantes genéticas para explicar la diferente respuesta fisiológica entre individuos tras consumir este estimulante. Esta Tesis Doctoral se compone de cinco estudios científicos con un enfoque multidisciplinar, cuyo denominador común es el baloncesto. En el primer estudio se evaluó el rendimiento físico y fisiológico de jugadores de baloncesto mediante tecnología GPS y se determinó que los jugadores recorrieron una distancia total de  $82,6 \pm 7,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  durante un partido de competición. La frecuencia cardíaca media fue de  $169 \pm 8 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $89,8 \pm 4,4\%$ ). La mayor parte del tiempo del partido se desarrolló a intensidades bajas y moderadas, aunque las actividades de alta intensidad fueron las que diferenciaron los patrones de movimiento de bases y aleros frente a los pívots. El segundo estudio evaluó las estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego en baloncesto y su relación con la consecución de la victoria, analizando las temporadas regulares desde 2003 hasta 2013 en categoría ACB. La precisión en el lanzamiento de 2 puntos y el número de asistencias fueron las variables que tuvieron una mayor asociación con el número de victorias conseguidas en temporada regular. Los puntos recibidos, la precisión en el lanzamiento de 2 y 3 puntos y el número de

asistencias marcaron las diferencias entre los equipos con mayor y menor número de victorias. En el tercer y cuarto estudio se utilizó una dosis moderada de cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) para evaluar los efectos de esta sustancia sobre el rendimiento en jugadores de baloncesto. Mediante el uso de test específicos para su evaluación, esta dosis de cafeína mejoró el rendimiento en el salto, sin variar la precisión en el lanzamiento (tiros libres y lanzamiento de 3 puntos), la velocidad de sprint con y sin balón, y la capacidad aeróbica. Durante un partido simulado de baloncesto, la ingesta aguda de cafeína permitió aumentar el número de movimientos medidos a partir de acelerometría, los tiros libres intentados y anotados, los rebotes ofensivos y totales, el número total de asistencias y el *performance index rating*. Los efectos adversos en las 24 horas siguientes a la ingestión de esta ayuda ergogénica fueron marginales. En el quinto estudio se investigó el efecto de las variaciones genéticas en el gen CYP1A2 sobre el efecto ergogénico de la cafeína en jugadores de baloncesto. Los homocigotos AA y los portadores del alelo C en el polimorfismo -163C>A obtuvieron beneficios similares tras la ingestión de  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína durante el desarrollo de pruebas específicas y un partido simulado de baloncesto. Por tanto, esta Tesis Doctoral propone la necesidad de realizar entrenamientos específicos en función de la posición del jugador sobre la pista, en base a las diferencias en los patrones de movimiento. Por otro lado, se determina que la precisión en el lanzamiento, el número de asistencias y los puntos recibidos son las variables más asociadas con la consecución del éxito en baloncesto en categoría ACB. Además, la cafeína es una ayuda ergogénica con efecto positivo sobre el rendimiento en baloncesto, sin variar la precisión en el lanzamiento a canasta. Por último, el polimorfismo -163C>A en el gen CYP1A2 no es responsable de las diferencias interindividuales en la respuesta fisiológica tras la ingesta de cafeína. Las investigaciones aquí presentadas, al igual que sus conclusiones, pretenden ser útiles para entrenadores y jugadores con el fin de mejorar el entendimiento de las demandas físicas y fisiológicas del jugador de baloncesto, las estadísticas relacionadas con el desarrollo del partido que determinan el éxito, además de profundizar en los beneficios y desventajas del uso de la cafeína para mejorar el rendimiento en este deporte.



# 2

## ABSTRACT

The analysis of performance in team-sports, such as basketball, is considered as a complex and multifaceted task that depends on: players' conditioning, physiological aspects and a multitude of notational variables during the game, as well as environmental, technical-tactical and even psychological factors. Furthermore, the use of ergogenic aids can also significantly influence sports performance. In particular, caffeine has a well-known ergogenic effect in aerobic sports but its benefits are not conclusive in sports that combine high-intensity efforts with recoveries and complex accuracy tasks. In addition, individuals have also been found who have little or no physiological response to acute caffeine intake. For this reason, the approach of this Doctoral Thesis has been geared to investigating several variables which influence basketball performance, measuring physical and physiological demands, making notational analyses during the game, as well as studying the effects of caffeine on these variables, and analysing the effect of genetic variants in order to explain the different physiological responses among individuals after consuming this stimulant. This Doctoral Thesis is composed of five scientific investigations with a multidisciplinary approach, whose common denominator is high-performance basketball. In the first study, physical and physiological variables of basketball players were evaluated using GPS technology revealing that basketball players covered a total distance of  $82.6 \pm 7.8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  (heart rate of  $169 \pm 8 \text{ beats}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $89,8 \pm 4,4\%$ )) during a competitive game, predominantly at low and moderate intensities; although the high-intensity activities differentiated the movement patterns of guards and forwards from centres. The second study evaluated game-related statistics and their association with victory, by analysing the regular seasons from 2003 to 2013 in the ACB category. Accuracy in 2-point field goals and the number of assists were the variables that showed a greater association with the number of wins in the regular season. Points received, accuracy in 2 and 3- point field goals and the number of assists marked the differences between the teams with more and less wins. In the third and fourth investigations, a moderate dose of caffeine ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) was used to assess its effects on overall performance in basketball players. Using specific tests for its evaluation, this dose of caffeine improved jump performance without modifying shooting accuracy (free

throws and 3-point shots), running speed during a sprint with and without the basketball ball and aerobic capacity. During a simulated basketball game, acute caffeine intake increased the number of movements measured by accelerometry, successful and attempted free throws, total and offensive rebounds, the number of assists and the performance index rating. Furthermore, the adverse effects after ingestion of this ergogenic aid were marginal. The fifth study evaluated the effect of genetic variations of the CYP1A2 gene on the ergogenic effect of caffeine in basketball players. AA homozygotes and C-allele carriers of the CYP1A2 -163C>A polymorphism obtained similar benefits with the ingestion of  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  of caffeine during specific basketball tests and a simulated basketball game. Therefore, this Doctoral Thesis proposes the necessity of carrying out specific basketball training according to basketball player position, based on the differences in movement patterns. Furthermore, it determined that shooting accuracy, the number of assists and points received are the variables most associated with basketball success in the ACB category. Moreover, caffeine is an ergogenic aid with a positive effect on basketball performance, without varying shooting accuracy. Finally, the -163C>A polymorphism on the CYP1A2 gene is not responsible for the inter-individual differences in the physiological response after caffeine intake. The investigations presented in this paper and their main conclusions may be useful for coaches and players to improve their understanding of the physical and physiological demands of basketball players, the game-related statistics that determine basketball success and the benefits and disadvantages of using caffeine to improve basketball performance.

3

**INTRODUCCIÓN**





# 3.1 JUSTIFICACIÓN

Einstein dijo no tener ningún talento especial más allá de ser profundamente curioso. No es el intelecto lo que hace a un gran científico, es el carácter. La elaboración de una Tesis Doctoral es un proceso arduo e infinitamente enriquecedor. Se asemeja a una carrera de fondo donde recibes ánimos cada miles de metros; en la que debe haber una perfecta fusión entre la motivación externa que recibes y la motivación que te genera tu propio trabajo, aquello que te apasiona conocer, comprender y explicar porque hasta ese momento poco se sabe. Rodearse de aquellos que apoyen, inspiren y respeten tu trabajo. Elegir aquello que de verdad despierte una curiosidad para ti es sinónimo de una vía directa hacia el éxito personal.

Hace más de veinte años ya tenía entre mis manos un balón de baloncesto. Crecí rodeado de baloncesto y aún sigo, más que nunca, inmerso en este deporte. Nunca fui profesional, y como jugador no creo que nunca lo sea. Tal vez en mi caso, puede que la idea de ser entrenador, preparador físico y jugador, además de científico de este deporte, sea más atractiva.

Cuando ya era “benjamín”, mi entrenador nos hacía rellenar un “acta casera” durante el partido, donde tan solo se anotaban las faltas, puntos totales y por jugador de cada equipo. Aquel papel generaba una inquietud para cualquier jugador en su etapa de formación, aunque muy posiblemente al entrenador solo le sirviese de referencia, como otros tantos aspectos del juego, uno más. Unos años más tarde, la esencia del registro estadístico en baloncesto es la misma, pero ha evolucionado, principalmente por la computarización de los registros en este deporte. Mayor número de datos, de estadísticas relacionadas con el juego de tu equipo y del rival: rebotes, asistencias, lanzamientos fallados y anotados de 2 y 3 puntos, tiros libres, etc. Existen aquellos que piensan que las estadísticas lo explican todo acerca del rendimiento de este deporte, que representan con precisión la calidad de un jugador. No comparto esta idea tan simplista de entendimiento y explicación del juego, pues omite aspectos básicos y fundamentales para el éxito en baloncesto tales como el desarrollo técnico-táctico individual y de equipo, condicionantes

psicológicos y ambientales, etc., En cualquier caso, si solo tenemos en cuenta las estadísticas relacionadas con el partido, ¿cuáles son las variables que determinan en mayor medida el éxito en baloncesto? Esta es una cuestión que habitualmente se preguntan jugadores y entrenadores de este deporte.

Además de esto y haciendo referencia al “deporte rey” de este país (el fútbol), los equipos con un mayor presupuesto y la propia televisión ofrecen y analizan datos que tienen que ver con las distancias recorridas y/o variables relacionadas con el rendimiento físico de cada jugador durante el partido. Gracias a que el fútbol se desarrolla en campos “al aire libre”, tiene a su disposición el uso de la tecnología más puntera, que funciona para reportar información relevante para la evaluación y mejora del rendimiento de sus equipos y jugadores (Del Coso et al., 2012a; Fernandes-da-Silva, Castagna, Teixeira, Carminatti y Guglielmo, 2016). Otras modalidades deportivas e investigaciones utilizan un diseño ecológico en instalaciones exteriores para medir distancias recorridas gracias al uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS; (Aughey, 2010; Barbero-Alvarez, Coutts, Granda, Barbero-Alvarez y Castagna, 2010; Coutts y Duffield, 2010; Del Coso et al., 2013a)). Para cubrir esta necesidad, en baloncesto, un deporte donde la competición se desarrolla dentro de una instalación deportiva interior, se utiliza el análisis de video para analizar los movimientos, un recurso menos objetivo y fiable. Si bien es cierto que dentro del campo científico existen investigaciones que utilizan este recurso para evaluar y describir de manera específica los patrones físicos de los jugadores (Ben Abdelkrim et al., 2010a; Ben Abdelkrim, El Fazaa y El Ati, 2007; Bishop y Wright, 2006; Narazaki, Berg, Stergiou y Chen, 2009; Scanlan, Dascombe y Reaburn, 2011; Scanlan, Dascombe, Reaburn y Dalbo, 2012; Ziv y Lidor, 2009), son pocos los equipos que analizan estos datos durante la competición en estos deportes debido a la alta complejidad que requiere esta metodología. Por tanto, ¿qué ocurriría si utilizamos la tecnología más avanzada en un deporte como el baloncesto en una cancha oficial al aire libre?

Por otro lado, la cafeína, esa sustancia estimulante accesible para todos, también alberga una parte importante de la presente Tesis Doctoral. Desde mi lado más personal, como jugador y desde mi etapa sénior, siempre tomé cafeína (solo para competir los sábados, es cierto). Pasé por café, Red Bull® y Durvitán (Anotaciones Farmacéuticas S. L.); todos contenían esta sustancia, en diferentes cantidades. Fui consciente de que tomar o recomendar alimentos que contienen dosis moderadas de cafeína era un hábito muy recurrido por un alto porcentaje de jugadores de baloncesto que de una forma u otra han estado en mi entorno. Unos se lo toman porque lo hacen a diario, como hábito; otros consumidores habituales argumentan

que les despierta y la consumen por este motivo; algunos, como yo, piensan que de alguna forma nos activa durante la vida diaria y, por supuesto, durante la competición en términos generales. A pesar de esta costumbre o de este consumo habitual de cafeína que al menos yo he percibido en este deporte, sus efectos sobre el rendimiento físico y/o técnico en el baloncesto han sido escasamente estudiados (Cheng, Hsu, Kuo, Shih y Lee, 2016; Tucker, Hargreaves, Clarke, Dale y Blackwell, 2013). Además, siempre me resultó curioso que hubiese jugadores que no experimentasen algo diferente a lo que están acostumbrados después de beber Coca-Cola® o café y que incluso no se sintiesen más enérgicos durante el entrenamiento, el partido o la competición (Doherty y Smith, 2005; Lara et al., 2015; Skinner, Jenkins, Coombes, Taaffe y Leveritt, 2010). ¿A qué se debe esa variabilidad? ¿Por qué los efectos de esta sustancia no repercuten de la misma manera en el rendimiento de unos y de otros?

Para finalizar, tan solo espero que este documento se acerque a las inquietudes de entrenadores, jugadores y por qué no, aficionados a este deporte o a cualquier otro cuya esencia y desarrollo sea similar al baloncesto. Si las conclusiones de esta Tesis Doctoral se aproximan al “terreno de juego”, sin duda, el esfuerzo habrá merecido la pena.





## 3.2 EL BALONCESTO. CARGAS INTERNAS Y EXTERNAS EN COMPETICIÓN

El baloncesto es un deporte de equipo de intensidad intermitente que implica la combinación de acciones de alta intensidad con períodos de intensidad menor y/o recuperaciones (McInnes, Carlson, Jones y McKenna, 1995). Desde la parcela fisiológica que explica las cargas internas de este deporte, investigaciones anteriores han descrito una frecuencia cardíaca media ( $FC_{med}$ ) del 80-95% de la frecuencia cardíaca máxima ( $FC_{máx}$ ) durante partidos de competición (Ben Abdelkrim et al., 2007; Vaquera et al., 2008) y medias de concentraciones de lactato en sangre de 3,2 a 6,8  $mmol \cdot L^{-1}$  (Ben Abdelkrim et al., 2007; McInnes et al., 1995; Narazaki et al., 2009). Con respecto a la potencia aeróbica necesaria para el baloncesto, una revisión realizada a 51 investigaciones determinó valores de consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2máx}$ ) de 44-54  $mL \cdot kg \cdot min^{-1}$  en jugadoras y de 50-60  $mL \cdot kg \cdot min^{-1}$  en jugadores (Ziv y Lidor, 2009).

Narazaki et al. (2009) evidenciaron una correlación entre el nivel aeróbico de jugadores y jugadoras de baloncesto con su nivel de actividad durante el partido, destacando la importancia de la capacidad aeróbica y el beneficio del entrenamiento aeróbico en el baloncesto. De hecho, las acciones de alta intensidad combinadas con actividades de carrera a baja intensidad durante diferentes períodos de tiempo estimula el metabolismo aeróbico y acelera la recuperación (Ben Abdelkrim, Chaouachi, Chamari, Chtara y Castagna, 2010b; Delextrat, Calleja-Gonzalez, Hippocrate y Clarke, 2013; Dorado, Sanchis-Moysi y Calbet, 2004), lo que permite mantener la potencia y la capacidad aeróbica durante un partido de baloncesto (Cormery, Marciel y Bouvard, 2008). En otras palabras, las actividades de baja intensidad en un partido de baloncesto permiten la recuperación necesaria para llevar a cabo los períodos repetidos de alta intensidad (entre 10 y 30 s) requeridos durante el juego (Drinkwater, Pyne y McKenna, 2008).

A pesar de las altas demandas cardiovasculares y la relevancia del metabolismo aeróbico (McInnes et al., 1995), el éxito en el ámbito profesional de este deporte viene principalmente determinado por acciones específicas ejecutadas a

alta intensidad, a máxima velocidad en muchos casos, más propias del metabolismo anaeróbico (McInnes et al., 1995). Según McInnes et al. (1995) estas acciones representan un 15% del total de los patrones de movimiento en el desarrollo de un partido. Movimientos característicos como son esprintar o saltar tienen una trascendencia clave para anotar en baloncesto (Hoffman, Tenenbaum, Maresh y Kraemer, 1996; Klusemann, Pyne, Foster y Drinkwater, 2012). Hoffman et al. (1996) demostraron que los jugadores con mayor fuerza en el tren inferior, mayor capacidad de salto, velocidad y agilidad disponían de más minutos sobre la pista. De esta manera, estos autores observaron que el nivel de fuerza del tren superior de los jugadores y su capacidad aeróbica no eran variables determinantes para jugar un mayor número de minutos. Por ende, rebotar, saltar, esprintar o tener la capacidad para realizar sprints repetidos, driblar, tirar o bloquear están estrechamente relacionados con el desarrollo de la fuerza muscular, la potencia, la velocidad y la agilidad, acciones propias del metabolismo anaeróbico (Castagna et al., 2008a; Stojanovic, Ostojic, Calleja-Gonzalez, Milosevic y Mikic, 2012). Como dato relevante, apoyando las premisas anteriores y destacando la relevancia del salto en baloncesto, quizá sea conveniente comentar que los jugadores profesionales de este deporte realizan una media de 44 saltos durante un partido de baloncesto (Ben Abdelkrim et al., 2007; McInnes et al., 1995).

Por otro lado, estudios previos han examinado las cargas y demandas físicas en este deporte utilizando el análisis de video para estudiar los movimientos en la pista de los jugadores en función del tiempo (Ben Abdelkrim et al., 2010a; Ben Abdelkrim et al., 2007; Bishop y Wright, 2006; Hulka, Cuberek y Svoboda, 2014; Scanlan et al., 2011; Scanlan et al., 2012). Utilizando dicha metodología, estas investigaciones han concluido que un alto porcentaje del tiempo de juego se desarrolla a baja intensidad, con una menor proporción de tiempo dedicado a movimientos relacionados con la fuerza, la potencia y/o la velocidad, tal y como se describió y explicó anteriormente (Drinkwater et al., 2008). Por ejemplo, jugadores australianos (sub-élite y profesionales) de baloncesto, medidos y evaluados a través del análisis de video, recorrieron  $156 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  de media en cada partido durante 8 partidos de competición, pero fue  $15,3 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  la distancia recorrida a una velocidad máxima (Scanlan et al., 2011). Datos similares se reportaron durante la competición en jugadores de élite adolescentes, donde de la distancia total cubierta ( $189 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ), tan solo  $19,1 \pm 4,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  fue la distancia recorrida a velocidad de sprint (Ben Abdelkrim et al., 2010a) durante partidos oficiales. Si tenemos en cuenta la diferencia entre los jugadores en función de su posición en la pista (bases, aleros y pívots), la revisión comentada anteriormente, que centró su objetivo en explicar los atributos físicos y las características fisiológicas de jugadores de baloncesto, concluyeron que los

bases mostraron menores valores en estatura y masa corporal que los pivots y realizaban un mayor número de movimientos a alta intensidad que el resto de jugadores (Ziv y Lidor, 2009).

Por tanto, parece estar claro que durante décadas, los científicos del deporte y entrenadores han dependido del análisis de video para medir, evaluar y cuantificar las cargas físicas y los patrones de movimiento en baloncesto. Sin embargo, la utilización del video con el objetivo de analizar las demandas físicas en este deporte ha generado conclusiones controvertidas ya que los tiempos a baja (30-72%), moderada (17-68%) y alta intensidad (2-20%) variaron sustancialmente entre las diferentes investigaciones revisadas (Ben Abdelkrim et al., 2010a; Ben Abdelkrim et al., 2007; Bishop y Wright, 2006; Hulka et al., 2014; Scanlan et al., 2011; Scanlan et al., 2012), quizá también por los diferentes umbrales utilizados para catalogar las cargas. Por ello, las limitaciones encontradas usando esta metodología probablemente han impedido la obtención de datos más objetivos y fiables (Hulka et al., 2014). Por el contrario, otros métodos novedosos tales como la tecnología GPS, han permitido a los investigadores de otras modalidades deportivas evaluar las exigencias físicas y patrones de actividad a través de la medición de las velocidades de carrera instantáneas, el número de aceleraciones y desaceleraciones, y la cuantificación de los impactos corporales totales o movimientos medidos a partir de acelerometría en deportes de equipo *outdoor*, cuya competición se desarrolla “al aire libre” (e.g., rugby, fútbol, etc; (Del Coso et al., 2012a; Del Coso et al., 2013a)). En deportes *indoor*, donde la competición se lleva a cabo en una instalación cubierta, como el balonmano, las demandas físicas propias de esta modalidad deportiva también han sido analizadas mediante tecnología GPS en una pista reglamentaria al aire libre (Barbero, Granda-Vera, Calleja-González y Del Coso, 2014), una opción que no se realiza en competición pero que sirve para obtener datos científicos aplicables al deporte.



# 3.3 ESTADÍSTICAS RELACIONADAS CON EL JUEGO EN BALONCESTO

En el mundo del deporte, los entrenadores consideran las estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego o indicadores de rendimiento durante el partido (Figura 1) como un recurso esencial para evaluar el rendimiento de un equipo o un jugador con el fin de preparar la competición. Concretamente, el análisis notacional

J 30   23/04/2017   17:00   Palau Blaugrana   Público:3117														1	2	3	4								
Árb: J.A. Martín Beltrán, Vicente Bultó, Martín Caballero														28 20	21 15	20 17	20 18								
FC BARCELONA LASSA 89														REB				TAP				FP			
D	Nombre	Min	P	T2	T2 %	T3	T3 %	T1	T1 %	T	D+O	A	BR	BP	C	F	C	M	F	C	+/-	V			
2	Rice, Tyrese	23:58	17	3/7	43%	3/5	60%	2/2	100%	0	0+0	3	2	1	1	0	0	0	1	2	13	16			
5	Doellman, Justin	15:12	6	3/7	43%	0/0	0%	0/0	0%	5	4+1	0	2	0	0	0	0	0	0	1	3	10			
10	Claver, Victor	16:37	5	1/2	50%	1/3	33%	0/0	0%	4	3+1	1	2	0	0	0	0	0	2	0	8	7			
11	Navarro, J. C.	8:34	5	1/2	50%	1/1	100%	0/0	0%	0	0+0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	4	5			
14	Vezenkov, A.	8:16	7	2/2	100%	1/1	100%	0/0	0%	0	0+0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	8	8			
20	Eriksson, Marcus	20:13	7	2/2	100%	1/5	20%	0/0	0%	1	1+0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	12	6			
21	Diagné, Moussa	10:29	2	1/2	50%	0/0	0%	0/0	0%	3	2+1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	-2	4			
24	Oleson, Brad	15:53	3	1/1	100%	0/4	0%	1/1	100%	1	0+1	2	0	0	0	0	0	0	3	1	3	0			
25	Koponen, Petteri	24:29	11	1/4	25%	3/5	60%	0/0	0%	1	1+0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	16	7			
32	Renfroe, Alex	16:2	4	2/4	50%	0/2	0%	0/0	0%	0	0+0	4	2	0	1	0	0	0	4	0	6	2			
33	Perperoglou, S.	10:55	2	1/1	100%	0/1	0%	0/0	0%	0	0+0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0			
44	Tomic, Ante	29:22	20	9/10	90%	0/0	0%	2/2	0%	7	7+0	4	1	2	1	0	1	2	1	5	21	32			
Equipo			0	0/0	0%	0/0	0%	0/0	0%	4	2+2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4			
Total		200:0	89	27/44	61%	10/27	37%	5/5	100%	26	20+6	19	13	4	5	1	1	2	18	10	19	101			
E Bartzokas, G.																									
5f																									
UNICAJA 70														REB				TAP				FP			
D	Nombre	Min	P	T2	T2 %	T3	T3 %	T1	T1 %	T	D+O	A	BR	BP	C	F	C	M	F	C	+/-	V			
2	Okouo, Viny																								
8	Fogg, Kyle	21:53	11	1/3	33%	2/7	29%	3/4	75%	4	4+0	1	0	2	0	0	0	0	1	3	-14	8			
9	Díaz, Alberto	17:39	6	0/0	0%	2/4	50%	0/0	0%	1	1+0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	-7	6			
11	Díez, Daniel	18:27	2	1/2	50%	0/1	0%	0/0	0%	1	1+0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-12	0			
15	Smith, Jamar	25:29	11	1/2	50%	3/4	75%	0/0	0%	1	1+0	1	0	3	0	0	0	0	0	1	-20	9			
16	Nedovic, Nemanja	18:1	8	1/4	25%	2/3	67%	0/0	0%	2	2+0	5	0	3	0	0	0	0	2	2	0	8			
20	Lafayette, Oliver	4:24	0	0/0	0%	0/0	0%	0/0	0%	1	1+0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2			
21	Waczynski, Adam	14:7	0	0/0	0%	0/2	0%	0/0	0%	1	1+0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	-4	-2			
23	Brooks, Jeff	22:4	11	4/8	50%	1/2	50%	0/0	0%	5	2+3	0	0	0	1	0	0	0	2	1	-15	11			
43	Suárez, Carlos	2:16	7	0/1	0%	2/2	100%	1/2	50%	1	0+1	2	0	1	0	0	0	0	0	2	-8	9			
44	Musli, Dejan	17:6	6	2/6	33%	0/0	0%	2/4	50%	7	4+3	3	0	3	0	0	0	1	2	4	-7	9			
92	Omic, Alen	19:34	8	4/6	67%	0/0	0%	0/0	0%	9	7+2	1	0	2	0	0	0	0	1	3	-8	16			
Equipo			0	0/0	0%	0/0	0%	0/0	0%	2	1+1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1			
Total		200:0	70	14/32	44%	12/25	48%	6/10	60%	35	25+10	15	1	17	0	1	1	1	10	18	-19	77			
E Plaza, Joan																									
5f																									

Figura 1. Ejemplo de la medición de las estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego durante un partido de baloncesto en categoría ACB.

Extraído de Asociación de Clubes de Baloncesto (2014).

se ha utilizado con frecuencia con el propósito de analizar y mejorar el rendimiento de los jugadores y de los equipos en el baloncesto de élite (Hughes y Franks, 2004; Leite, Baker y Sampaio, 2009; Lorenzo, Gómez, Ortega, Ibáñez y Sampaio, 2010; Ortega, Villarejo y Palao, 2009). El análisis de las estadísticas anotadas durante el partido ayuda a evaluar el rendimiento de cada jugador y compararlo con el resto de jugadores (Mikolajec, Maszczyk y Zajac, 2013). A lo largo de los años, se han creado numerosos métodos de registro y análisis para medir las variables notacionales del juego: desde simples hojas de estadísticas completadas por entrenadores asistentes hasta procedimientos completamente automatizados que organizan todos los indicadores significativos de desempeño en el juego o durante el partido (Lorenzo et al., 2010; Oliver, 2004).

Posiblemente, el baloncesto es uno de los deportes en el que las estadísticas adquieren mayor relevancia en la evaluación de jugadores, equipos y rivales. Por ello, el análisis notacional en este deporte ha sido estudiado en diferentes categorías y niveles de competición, examinando también variables como el género, el tipo de juego, el resultado final del encuentro (igualado o no) y los jugadores que juegan o no al inicio del partido (Csataljay, O'Donoghue, Hughes y Dancs, 2009; García, Ibáñez, Gómez y Sampaio, 2014; Ibáñez, García, Feu, Lorenzo y Sampaio, 2009; Mikolajec et al., 2013; Sampaio, Godoy y Feu, 2004; Sampaio, Ibáñez, Lorenzo y Gómez, 2006). Principalmente, el objetivo de estas investigaciones fue determinar las estadísticas relacionadas con el juego o indicadores de rendimiento durante el partido que determinaron el éxito o la victoria en este deporte.

En categoría sub-20, las estadísticas que diferenciaron a los equipos ganadores de los perdedores, teniendo en cuenta 223 partidos, fueron el rebote defensivo, el número de asistencias y los lanzamientos de 2 puntos anotados (Ibáñez et al., 2009). En cuanto a las diferencias en edad o categoría y género en equipos profesionales en Mundiales de baloncesto, los equipos en categoría junior destacaron por un menor número de asistencias y un mayor número de pérdidas de balón que los equipos profesionales sénior, mientras que los equipos masculinos se diferenciaron de los equipos femeninos por su mayor número de tapones, menor número de recuperaciones de balón y lanzamientos de 2 puntos fallados durante el partido (Sampaio et al., 2004). Si analizamos las variables que determinan el éxito en función de los jugadores que inauguran un partido (los 5 jugadores titulares) y los que no lo hacen (el resto de jugadores que entraron en juego tras el quinteto inicial), los jugadores que empezaron el partido sobre la pista dieron más asistencias, capturaron más rebotes defensivos y cometieron menor número de faltas cuando ganó el partido el equipo mejor clasificado hasta ese momento (Sampaio et al., 2006).

Cuando ganó el equipo con peor clasificación en comparación con el equipo que estaba compitiendo, los jugadores que jugaban de inicio sobresalieron en lanzamientos de 2 puntos anotados y fallados, tiros libres anotados, rebotes defensivos y un menor número de faltas cometidas (Sampaio et al., 2006).

Teniendo en consideración el resultado final del encuentro durante el Europeo de baloncesto celebrado en Madrid en 2007, la victoria en partidos muy ajustados (9 puntos o menos de diferencia) se debió principalmente al menor número de lanzamientos de 3 puntos intentados, a la precisión en el lanzamiento, los tiros libres anotados y el número de rebotes defensivos (Csataljay et al., 2009). Analizando también el tipo de juego, el éxito ofensivo en partidos ajustados podría venir determinado por posesiones más largas de balón y un mayor número de pases contra diferentes sistemas defensivos (Gómez, Tsamourtzis y Lorenzo, 2006). Además, las acciones del jugador con balón después de un bloqueo directo y la orientación del mismo sobre el balón, se consideraron factores clave dentro de la estrategia ofensiva en el baloncesto (Gomez et al., 2015).

En categoría ACB, durante la temporada 2004/2005 (306 partidos), el éxito en partidos igualados (entre 1 y 12 puntos de diferencia) se atribuyó a los rebotes defensivos, mientras que en los partidos finalizados con una diferencia mayor en el marcador (entre 13 y 28 puntos de diferencia), a parte de los rebotes defensivos, el número de asistencias y lanzamientos de 2 puntos anotados diferenciaron al equipo ganador del equipo perdedor (Gómez, Lorenzo, Sampaio, Ibáñez y Ortega, 2008). En esta misma categoría, en la temporada 2007/2008, además de la diferencia de puntos en el resultado final del partido, también se tuvo en cuenta qué equipo ganaba o no el partido para determinar la importancia sobre estas variables de cada una de las estadísticas medidas durante el partido. Se concluyó que en partidos igualados, el equipo local ganaba gracias a un mayor número de asistencias, lanzamientos de 2 puntos anotados y rebotes defensivos. Cuando el equipo visitante se alzaba con la victoria, fue gracias a un mayor número de recuperaciones de balón y asistencias. En partidos no igualados, las asistencias fue la variable diferenciadora cuando ganaba el equipo local, pero cuando lo hacía el visitante, además de las asistencias, los lanzamientos de 3 puntos marcaron la diferencia (García et al., 2014). Esa misma temporada (2007/2008), sumando los 17 partidos de playoffs, fueron las asistencias, los rebotes defensivos y los lanzamientos anotados de 2 y 3 puntos las variables que discriminaron a los equipos ganadores de los perdedores durante la fase regular. En playoffs, el éxito vino determinado por los rebotes defensivos (García, Ibáñez, Martínez De Santos, Leite y Sampaio, 2013). En el Mundial de baloncesto en Turquía en 2010, la precisión en el lanzamiento influyó en el resultado

del partido, siendo los rebotes ofensivos y defensivos decisivos en la segunda parte (Malarranha, Figueira, Leite y Sampaio, 2013). Con respecto a la Asociación Nacional de Baloncesto (NBA) y tras analizar 8 temporadas (2003-2011), los indicadores que determinaron en mayor medida el éxito fueron la eficiencia ofensiva (número de puntos que un equipo anota por cada 100 posesiones), el promedio de puntos en el tercer cuarto, el porcentaje de victorias en partidos cerrados y el promedio de faltas y recuperaciones de balón (Mikolajec et al., 2013).

Por tanto, el análisis de las estadísticas durante el partido es un recurso de gran ayuda a la hora de conocer y evaluar el rendimiento de un equipo sobre la pista. Las asistencias, los rebotes y la precisión en el lanzamiento podrían ser, tras lo dicho, las variables más relevantes para conseguir el éxito colectivo y consecuentemente la victoria, en cuanto al análisis notacional se refiere. No obstante, la mayoría de las investigaciones mencionadas analizaron solo una temporada de baloncesto o torneos específicos, y el predominio de los indicadores de juego durante el partido podría haber sido influenciado por las particularidades de cada tipo de competición o torneo en el momento analizado. De hecho, otros parámetros como la filosofía de los entrenadores, el estilo de juego y las lesiones pueden afectar a la relación entre las estadísticas relacionadas con el juego y el rendimiento en pista de los jugadores.



## 3.4 CAFEÍNA, DEPORTE Y BALONCESTO

La cafeína (1,3,7-trimetilxantina) es una de las sustancias más consumidas a nivel mundial a pesar de no tener valor nutricional y no ser esencial para ninguna función biológica. Aproximadamente el 80% de la población mundial consume cafeína diariamente (Butt y Sultan, 2011). Habitualmente, en la mayor parte de países occidentales, la mayor cantidad de cafeína se ingiere en la dieta a través de las infusiones de café, que pueden oscilar entre 20-117 mg por cada 100 mL de bebida, dependiendo de múltiples variables como las diferencias genéticas de los granos o el tiempo y la forma de preparación. El segundo producto más habitual y con contenido de cafeína es el té, cuya concentración fluctúa entre 20-73 mg por cada 100 mL de bebida, dependiendo de la elaboración y el tiempo de extracción. En el cacao predomina la teobromina (2,5%) y en menor cantidad la cafeína (0,4%). Por este motivo, el contenido de cafeína del chocolate varía entre 5-20 mg por cada 100 g y depende del lugar de extracción del cacao. Las plantas como el guaraná, el mate, la cola y el yoco también contienen cafeína entre un 2-4%, y estos tipos de plantas son consumidos de manera predominante en países de Sudamérica como sustitutivo del café o del té (Lozano, García, Tafalla y Albaladejo, 2007). En lo que se refiere al aporte de cafeína a partir de productos manufacturados, una de las principales fuentes de ingestión de este estimulante son las bebidas energéticas. La mayoría de estas bebidas tienen una composición parecida y una cantidad de cafeína similar (32 mg por cada 100 mL de producto), además de carbohidratos (10 g por cada 100 mL), taurina, glucuronolactona y vitaminas del grupo B, entre otros (European Food Safety Authority, 2015).

Entre los países con el consumo más alto de cafeína (tomando como referencia a un adulto medio de 70 kg) destacan Suiza, Noruega y Países Bajos con aproximadamente  $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  al día. Por otro lado, Tanzania, Costa de Marfil y Nigeria son los países menos consumidores de esta sustancia con dosis menores a  $1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  al día. En España, se estima que el 80% de la población adulta tiene un consumo medio diario de entre 200-300 mg por persona. En el caso de los niños o adolescentes la cafeína se consume en forma de bebidas energéticas, refrescos y chocola-

te (Lozano et al., 2007; Moro, Lizasoain y Ladero, 2003), mientras que el café tiene poca presencia en estas edades.

En relación a las dosis seguras de consumo de esta sustancia por grupos de edad, se sugiere que dosis únicas de 200 mg (aproximadamente 3 mg·kg<sup>-1</sup>) no suele plantear problemas de seguridad para la población adulta sana (European Food Safety Authority, 2015). Se propone también esta cantidad de cafeína para niños y adolescentes puesto que la velocidad de procesamiento de la cafeína es similar a la de los adultos. Asimismo y 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 (European Food Safety Authority, 2015).

Atendiendo a la farmacocinética y para describir el comportamiento de la cafeína en el cuerpo (Tabla 1) es preciso determinar 4 procesos: absorción, distribución, metabolismo y excreción de la misma (Jang, Harris y Lau, 2001; Magkos y Kavouras, 2005). Tras su ingestión oral, la cafeína es absorbida en el estómago e intestino delgado 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 cafeína se absorbe más rápido si la ingestión es a través de chicles, en comparación a la misma dosis administrada en cápsulas (Kamimori et al., 2002). La absorción en forma de cápsulas es más rápida que tomarla a través de café o té, mientras que la manera más lenta en la que esta sustancia es absorbida es a través de bebidas con cola (Magkos y Kavouras, 2005; Marks y Kelly, 1973). Cabe destacar 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 y 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 y Kavouras, 2005). En el caso de consumir una taza de café, que corresponde aproximadamente a 1 mg·kg<sup>-1</sup> de cafeína, el pico de concentración plasmática será de 5-10 µM (Carrillo y Benitez, 2000) y se producirá entre 15-120 min después de la ingesta (Kamimori et al., 2002).

El tiempo medio que tarda el organismo en excretar la cafeína para dosis menores de 10 mg·kg<sup>-1</sup> oscila entre 2,5-10 h, y la velocidad de aclarado en el riñón oscila entre 1-3 mL·kg·min<sup>-1</sup> (Kamimori et al., 2002). En el caso de mayores dosis de ingestión, dosis repetidas o consumos habituales, el tiempo de eliminación de la sustancia incrementa, no solo por una mayor concentración de cafeína, sino por el aumento de los metabolitos que aparecen tras el metabolismo de la cafeína (Cheng, Murphy, Smith, Cooksley y Halliday, 1990).

**Tabla 1. Farmacocinética de la cafeína.**

Variables	Descripción, promedio (rangos)
Biodisponibilidad	Absorción completa en 60 min
Pico de concentración plasmática (PCP)	5-10 $\mu\text{M}$ por cada 1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de dosis oral
Tiempo para PCP	60 (15-120) min
Volumen de distribución	700 (500-800) $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}$
Tiempo medio de eliminación	5 (2,5-10) h
Pico de concentración de orina (PCO)	1,3 (1-3) $\text{mL}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$
	0,5-1,5 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ por cada 1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de dosis oral
Tiempo para PCO	120 (60-180) min

Extraído de European Food Safety Authority (2015).

Por otro lado, es bien sabido que el mecanismo de acción de la cafeína está relacionado con la activación de procesos en el sistema nervioso central (SNC). La cafeína cruza la barrera hematoencefálica, bloqueando e inhibiendo los efectos negativos que la adenosina induce sobre la neurotransmisión, excitación y percepción del dolor (Hogervorst et al., 2008). A nivel periférico inhibe la actividad de la fosfodiesterasa, promoviendo un aumento de catecolaminas en plasma y la glucólisis (Davis y Green, 2009).

La cafeína tiene varios efectos en los diferentes aparatos y sistemas. A nivel cardiovascular, el consumo de cafeína conlleva a un aumento de la presión arterial y de la frecuencia cardíaca (FC) debido a la liberación de adrenalina además de actuar directamente sobre el músculo cardíaco (Lovallo et al., 2004). En relación al sistema respiratorio, la cafeína aumenta sensiblemente la capacidad respiratoria al aumentar la contractilidad del diafragma (Bara y Barley, 2000), incrementando la ventilación en reposo y la producción de  $\text{CO}_2$  durante el ejercicio por debajo del umbral anaeróbico (Karapetian, Engels, Gretebeck y Gretebeck, 2012). Esta sustancia tiene efecto también sobre la capacidad muscular debido a la mejora de la liberación de  $\text{Ca}^{2+}$  en el retículo sarcoplasmático o por reclutamiento de unidades motoras debido a la inhibición de las acciones de adenosina en el SNC. Además, aumenta el flujo renal y produce un incremento en la producción de orina en reposo y tiene un efecto lipolítico (Davis et al., 2003).

### Cafeína y su utilización en el ámbito deportivo

La cafeína es una de las ayudas ergogénicas más utilizadas en el mundo del deporte (Salinero et al., 2014). El uso actual en este ámbito está asociado a tres factores fundamentales. Primeramente, está demostrado que su uso produce

beneficios físicos y fisiológicos en múltiples actividades deportivas con diferentes duraciones e intensidades (Burke, 2008). En segundo lugar, debe su popularidad también a la publicidad y oferta de las bebidas energéticas y suplementos que incluyen esta sustancia (Hoffman, 2010). Y por último, desde el año 2004, ya no consta como una sustancia prohibida en la lista de la Agencia Mundial Antidopaje (AMA). De hecho, para comprobar el efecto que tuvo la retirada de la cafeína de la lista de sustancias prohibidas, se analizaron 20686 muestras de orina obtenidas en competiciones oficiales nacionales e internacionales entre los años 2004 y 2008 y se observó que 3 de cada 4 atletas consumieron cafeína antes de la competición (Del Coso, Muñoz y Muñoz-Guerra, 2011). En cuanto a los jugadores de baloncesto analizados en esta investigación, la media de excreción urinaria después de la competición fue de  $1 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ , indicando por tanto que el consumo de cafeína en este deporte es moderado.

## Cafeína y resistencia

En los años 70 se pensaba que la ergogenicidad de la cafeína estaba relacionada con el incremento de la lipólisis y oxidación de grasas que redundaba en el ahorro de glucógeno muscular y hepático para situaciones de alta intensidad (Costill, Dalsky y Fink, 1978). Este mecanismo se estableció por el hecho de que los efectos de esta sustancia fueron inicialmente probados en actividades de larga duración y algunos estudios no hallan la efectividad de la cafeína en ejercicios de resistencia (Butts y Crowell, 1985; Falk et al., 1990), la base científica actual evidencia el efecto ergogénico de la cafeína sobre el rendimiento en actividades de resistencia cuando se consume en dosis de entre  $3\text{-}9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Burke, 2008; Del Coso et al., 2012a; Lane et al., 2013; Lara et al., 2014; Mohr, Nielsen y Bangsbo, 2011).

A pesar del consenso general en el que se acepta que esta sustancia es una potente ayuda ergogénica, tanto en entrenamiento como en competición en pruebas de resistencia, tan sólo dos investigaciones evalúan los efectos de la cafeína en jugadores de baloncesto. Por un lado, quince jugadores de baloncesto aumentaron la potencia máxima durante un test máximo de 3 minutos sobre un cicloergómetro, disminuyendo el ratio de fatiga tras consumir  $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína. Asimismo, la ingestión de cafeína conllevó a una mayor concentración de lactato y menor concentración de potasio después del ejercicio (Cheng et al., 2016). Sin embargo, cinco jugadores profesionales de baloncesto no aumentaron su rendimiento tras realizar un test máximo incremental en tapiz rodante, por lo que los efectos de  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína no variaron el  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , perfiles de lactato en sangre, cociente respiratorio y de ratio de esfuerzo percibido durante el test (Tucker et al., 2013). Por tanto, encontra-

mos resultados y conclusiones diferentes en cuanto a los efectos de esta sustancia sobre el rendimiento en resistencia en baloncesto. Por otro lado, no existen estudios que evalúen la resistencia en jugadores de baloncesto mediante un test específico utilizado previamente para evaluar el rendimiento en deportes colectivos.

## Cafeína y precisión

Además de la relación de los efectos de esta sustancia con el sistema cardiovascular, la cafeína tiene un efecto psicoestimulante sobre el SNC, disminuyendo por ello la sensación de fatiga y aumentando el estado de atención y concentración (Beaumont et al., 2005). Por otro lado, algunos autores han sugerido que la cafeína puede afectar negativamente al rendimiento de habilidades motoras debido al aumento de nerviosismo, temblores en manos y brazos y falta de coordinación (Franks, Hagedorn, Hensley, Hensley y Starmer, 1975). A pesar de ello, son muy pocas las investigaciones que ahonden sobre los efectos de esta sustancia en actividades de precisión en alguna modalidad deportiva. En deportes individuales, Doyle, Lutz, Pellegrino, Sanders y Arent (2016) midieron el rendimiento tras la ingestión de diferentes dosis de cafeína en la precisión y el tiempo de reacción en esgrima. Para ello, suministraron 5 dosis diferentes de esta sustancia (desde 0  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  a 7,5  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ): hasta 4,5-6  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , el rendimiento y el tiempo de reacción mejoró significativa y progresivamente. El rendimiento comenzó a deteriorarse cuando los participantes ingirieron la cantidad más alta de esta sustancia utilizada en esta investigación (7,5  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). De igual manera, 11 esgrimistas consumieron 3  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  previamente a la realización de un test específico de reacción y precisión. Esta cantidad no modificó el rendimiento en la prueba con respecto al placebo, pero los competidores percibieron menor agotamiento en piernas y manos (Bottoms, Greenhalgh y Gregory, 2013) tras ingerir cafeína. Además, una dosis de 2 y 4  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  no produjo beneficios en la precisión en tiradores profesionales de tiro al plato (fosa doble) (Share, Sanders y Kemp, 2009).

En cuanto a los deportes de equipo se refiere, Gant, Ali y Foskett (2010) evidenciaron que tras ingerir una cantidad de cafeína de 3,7  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  mezclada con carbohidratos (1,8  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), quince jugadores de fútbol no mejoraron el rendimiento de la precisión en el pase en un test específico. Por tanto, la relación entre los efectos de la cafeína y el rendimiento en la precisión en diferentes habilidades deportivas no está clara. Además y aparte de lo descrito anteriormente, ninguna investigación ha estudiado acerca de la efectividad de la cafeína sobre actividades relacionadas con la precisión en el lanzamiento, aún siendo ésta una habilidad determinante en diferentes disciplinas de equipo como son el fútbol, el balonmano o el baloncesto.

## Cafeína y velocidad

Los efectos de la cafeína también han sido evaluados en la velocidad de desplazamiento y la capacidad de esprintar o de repetir sprints, puesto que son componentes esenciales para el rendimiento en multitud de disciplinas deportivas. Se han utilizado diferentes cantidades de esta sustancia para medir los efectos de la misma sobre el rendimiento de los deportistas con diferentes resultados. Un estudio doble ciego con futbolistas comprobó los efectos de la ingesta de una dosis de  $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  en un test de  $10 \times 20 \text{ m}$ . Los autores no evidenciaron mejoras significativas de la cafeína con respecto al placebo (Paton, Hopkins y Vollebregt, 2001). Con esta misma cantidad, resultados similares se obtuvieron tras evaluar a 11 deportistas de equipo tras realizar sprints de  $6 \times 20 \text{ m}$ , concluyendo que la cafeína no mejoró significativamente los resultados ni en el tiempo del mejor sprint o del total de los sprints (Kopec, Dawson, Buck y Wallman, 2016). Del Coso et al. (2013a) utilizaron una cantidad menor de cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) con 16 jugadoras de rugby 7. La velocidad máxima en la media de los sprints no fue significativamente mejor ( $25,0 \pm 1,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) que la obtenida con el consumo de placebo ( $25,0 \pm 1,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Sin embargo, hay varios estudios que evidencian una mejora significativa en la velocidad o en la capacidad de repetir sprints tras una ingesta de cafeína. Esta sustancia en una cantidad de 5 y  $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  fue eficaz en 21 hombres físicamente activos y 10 jugadores de equipo tras realizar diferentes pruebas de sprints repetidos ( $12 \times 30 \text{ m}$  y  $5 \times 6 \times 20 \text{ m}$ , respectivamente), aumentando la velocidad máxima y mejorando la capacidad para repetir sprints (Carr, Dawson, Schneiker, Goodman y Lay, 2008; Glaister et al., 2008). De igual forma, jugadores y jugadoras de fútbol aumentaron significativamente la velocidad máxima durante un test de sprints repetidos ( $7 \times 30 \text{ m}$ ) tras el consumo de  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Del Coso et al., 2012a; Lara et al., 2014).

Toda la bibliografía existente que estudia la cafeína en deportes de equipo y su relación con la velocidad utiliza pruebas de sprints repetidos para la evaluación de sus efectos. Sin embargo, la metodología en estos estudios propone y utiliza sprints sin cambios de dirección y/o sin el uso de ningún material específico complementario de los deportes a los que se hace referencia en estas investigaciones. Además, no existen investigaciones que hayan evaluado los efectos de un consumo de cafeína sobre la habilidad para realizar sprints en jugadores/as de baloncesto. Por tanto, sería interesante implementar material específico de este deporte (e.g., balón de baloncesto) durante el desarrollo de pruebas específicas con cambios de dirección con el fin de evaluar los efectos de la cafeína sobre el *dribbling* o el manejo del balón.

## Cafeína y rendimiento en el salto

Cuando se relaciona la ingesta de una dosis moderada de cafeína con la mejora del rendimiento en el salto ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), existen resultados concluyentes en diferentes deportes donde la capacidad de saltar o la fuerza del tren inferior tienen un papel primordial para un óptimo rendimiento de los deportistas. Por tanto, son varias las investigaciones que determinan que una dosis de  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína mejoran el rendimiento en el salto, aumentando de manera significativa la altura del mismo en: luchadores profesionales de Brazilian Jiu-Jitsu (Díaz-Lara et al., 2016a), nadadores de élite (Lara et al., 2015), deportistas profesionales de bádminton (Abian et al., 2015), voleibol (Del Coso et al., 2014; Pérez-López et al., 2015), rugby 7 (Del Coso et al., 2013a) y fútbol (Del Coso et al., 2012a; Lara et al., 2014).

Por otro lado, un incremento en la altura del salto en jugadores de baloncesto podría representar un aumento del rendimiento en diferentes acciones defensivas (e.g., rebotes defensivos y tapones) y ofensivas (e.g., lanzamiento a canasta y rebotes ofensivos) de manera directa, incidiendo quizá también en movimientos específicos de este deporte, donde un aumento de fuerza del tren inferior podría permitir un mejor desempeño de los mismos (e.g., desplazamientos defensivos, *dribbling*). Sin embargo, en baloncesto, tan solo una investigación estudió el rendimiento del salto en tan solo cinco jugadores profesionales de este deporte, concluyendo que una dosis de  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína no fue suficiente para aumentar el rendimiento en el salto (Tucker et al., 2013). Debido también al bajo número de jugadores que participaron en esta investigación, se plantea necesario realizar investigaciones con mayor potencia estadística que evalúen los efectos de esta sustancia en el rendimiento en el salto de jugadores de baloncesto.

## Cafeína y rendimiento en competición

Los efectos ergogénicos de  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína han sido constatados en distintas variables de gran importancia en diferentes deportes y disciplinas deportivas; supuso un mayor número de acciones positivas reduciendo las negativas durante la competición en voleibol (Del Coso et al., 2014; Pérez-López et al., 2015). De la misma manera, el consumo de esta dosis de cafeína permitió anotar más puntos a jugadores junior de élite de tenis durante partidos simulados de competición (Gallo-Salazar et al., 2015), pasar más tiempo desarrollando acciones ofensivas durante dos combates a luchadores de Brazilian Jiu-Jitsu (Díaz-Lara et al., 2016b) y nadar más rápido una distancia de 50 m con la ingesta de esta sustancia a nadadores velocistas (Lara et al., 2015). No obstante, la frecuencia y la calidad de acciones propias del rugby 7 no variaron con la cafeína durante un partido, con-

tando para esta investigación con dieciséis mujeres profesionales de este deporte (Del Coso et al., 2016).

Con el objetivo de medir las cargas físicas y fisiológicas de los participantes, varias investigaciones ecológicas han analizado la influencia de un consumo moderado de cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) en competición o en partidos simulados en diferentes modalidades deportivas mediante la utilización de tecnología GPS. Utilizando esta metodología en instalaciones cubiertas, podemos ver como la cafeína permitió que 16 jugadores profesionales de bádminton (Abian et al., 2015) y 13 jugadoras de élite de voleibol (Perez-Lopez et al., 2015) aumentaran el número de impactos corporales totales durante partidos simulados de competición. Con el uso de los GPS y acelerómetros en instalaciones al aire libre, los resultados son muy similares. La distancia total recorrida y las distancias cubiertas a alta intensidad durante partidos simulados de competición aumentaron significativamente tras consumir cafeína en jugadores y jugadoras de tenis, rugby, rugby 7 y fútbol (Del Coso et al., 2012a; Del Coso et al., 2013a; Gallo-Salazar et al., 2015; Lara et al., 2014; Ortega et al., 2009; Portillo, Del Coso y Abian-Vicen, 2016). El uso de esta sustancia en hockey no modificó la distancia total recorrida, aunque sí se produjo un aumento de la distancia cubierta a alta intensidad y esprintando (Del Coso et al., 2016). Sin embargo, la  $FC_{\text{med}}$  y la  $FC_{\text{máx}}$  no cambiaron tras ingerir esta sustancia, al menos de manera significativa, en ninguna de las investigaciones mencionadas anteriormente, excepto en el análisis a 16 jugadoras internacionales por España durante un Campeonato Internacional de rugby 7, donde la  $FC_{\text{med}}$  aumentó gracias a los efectos de la cafeína (Del Coso et al., 2013a). Por tanto, aunque el consumo de cafeína permite mejorar el rendimiento en competición en diferentes deportes, ninguna investigación ha evaluado el efecto de la cafeína en el desempeño de jugadores de baloncesto durante un partido competitivo.

### Cafeína, dosis administradas y efectos secundarios

La ingesta de cafeína o productos con cafeína está acompañada por diferentes efectos secundarios adversos como insomnio, nerviosismo, inquietud, irritaciones gástricas, vómitos, náuseas, taquicardias, temblores y ansiedad (Clouston, Shields, McQueen y Persad, 2008). Las diferentes dosis administradas a deportistas están estrechamente ligadas a la aparición de efectos secundarios agudos. De hecho, se han encontrado incrementos drásticos en la frecuencia de efectos secundarios con la ingestión de  $9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína: incrementos en el insomnio (54%), aumento de la diuresis (54%) y problemas gastrointestinales (38%) principalmente comparado con el consumo de dosis más bajas de cafeína ( $3\text{-}6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; (Del Coso, Salinero, Gonzalez-Millan, Abian-Vicen y Perez-Gonzalez, 2012b; Pallares et al., 2013)). Además, dosis diarias más altas o un consumo excesivo y repetitivo de



esta sustancia puede estar acompañado de insuficiencia renal, agitación, daño hepático, taquicardia, arritmias cardíacas, convulsiones, hipertensión y muerte súbita (Salinero et al., 2014; Seifert, Schaechter, Hershorin y Lipshultz, 2011).

Sin embargo, la cafeína también puede incrementar factores psicofisiológicos relacionados con el esfuerzo al realizar ejercicio (Duncan, Smith, Cook y James, 2012; Salinero et al., 2014). El consumo de cafeína ha derivado en cambios en el estado anímico en relación con el ejercicio, aumentando la percepción de vigor y actividad (Duncan y Oxford, 2011) y la predisposición para realizar el esfuerzo (Duncan y Hankey, 2013; Duncan, Stanley, Parkhouse, Cook y Smith, 2013). Por otro lado diferentes trabajos muestran una reducción en el ratio de esfuerzo percibido (RPE) durante el ejercicio (Doherty y Smith, 2005; Duncan y Hankey, 2013; Duncan y Oxford, 2012; Duncan et al., 2012; Duncan et al., 2013), la fatiga y la percepción de dolor muscular de manera significativa gracias al consumo de cafeína (Duncan y Oxford, 2011).

Por último y abordando el tema de la dosis adecuada a utilizar, dosis moderadas en torno a  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína incrementan la sensación de vigor y activación, siendo suficientemente eficaces para provocar beneficios en relación al rendimiento deportivo en comparación con el placebo, estando asociadas con muy pocos o ningún efecto secundario (Del Coso et al., 2012b; Pallares et al., 2013; Spriet, 2014). Dosis más bajas parecen ser las más adecuadas para mejorar la vigilancia, el humor, el estado de alerta, la orientación (Brunye, Mahoney, Lieberman y Taylor, 2010; Olson, Thornton, Adam y Lieberman, 2010) o la capacidad de decisión durante el ejercicio prolongado (Hogervorst et al., 2008).

## Cafeína y baloncesto

Como se ha comentado y descrito en apartados anteriores, existen pocas investigaciones que evalúen los efectos de la cafeína sobre el rendimiento en jugadores de baloncesto. Asimismo, estos trabajos utilizaron tests poco específicos del deporte en cuestión, mostrando además resultados diferentes en cuanto a la ergogenicidad de esta sustancia en la muestra analizada (Cheng et al., 2016; Tucker et al., 2013).

Por otro lado, la cafeína y sus efectos ya han sido evaluados en el rendimiento en diferentes deportes de equipo, utilizando tests específicos, partidos simulados y de competición (Del Coso et al., 2012a; Del Coso et al., 2014; Del Coso et al., 2013a; Del Coso et al., 2013b; Lara et al., 2014; Perez-Lopez et al., 2015) para medir las diferentes capacidades condicionales, demandas físicas y

fisiológicas, además de las habilidades técnico-tácticas de los jugadores y las jugadoras.

Por tanto, nace la necesidad de estudiar los efectos de esta sustancia en el rendimiento en baloncesto, sobre las capacidades físicas y habilidades técnicas, las cargas físicas y fisiológicas durante un partido e incluso observar y determinar si existe una mejora en las estadísticas relacionadas con el desarrollo partido.

### Cafeína y genética

Parece claro, por tanto, que la cafeína o los productos que contienen cafeína se usan comúnmente como ayudas ergogénicas en los deportes debido a su eficacia para aumentar el rendimiento físico tanto en deportes de equipo como en deportes individuales con diferentes demandas fisiológicas (Abian et al., 2015; Del Coso et al., 2012a; Del Coso et al., 2014; Del Coso et al., 2013a; Lara et al., 2015). Estas conclusiones están basadas en investigaciones previas que han reportado beneficios de la cafeína en el rendimiento físico como una media de grupo. Sin embargo, algunas investigaciones han demostrado que no todos los individuos experimentan un mayor rendimiento físico después de la ingestión de dosis moderadas de cafeína (Doherty y Smith, 2005; Lara et al., 2015; Skinner et al., 2010), lo que sugiere que este estimulante podría no ser ergogénico para todos los deportistas. De hecho, estos estudios han identificado la presencia de individuos que obtienen efectos ergogénicos mínimos o incluso ligeros efectos ergolíticos sobre su rendimiento después de la ingesta de dosis moderadas de cafeína.

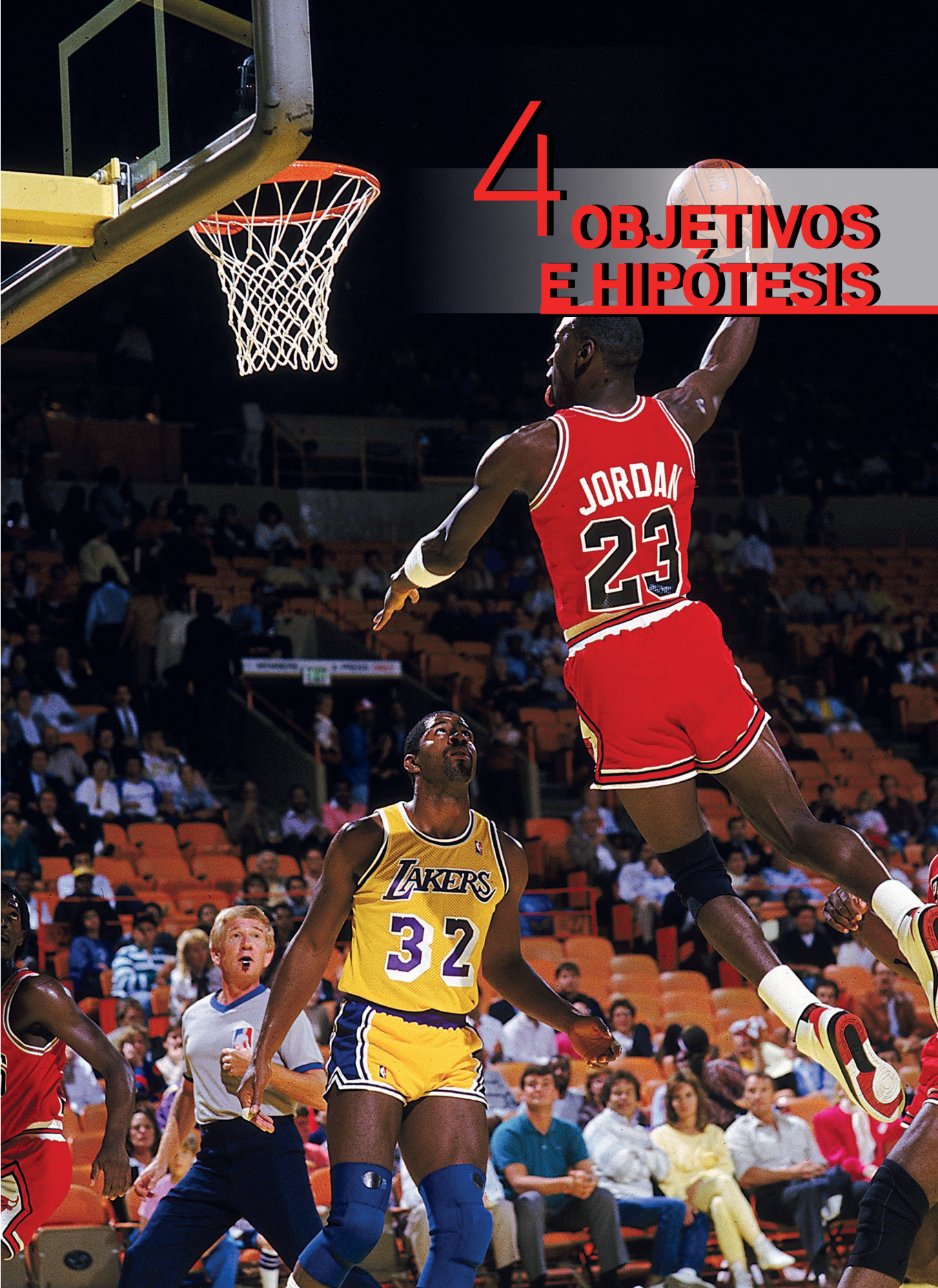
Aunque la explicación para la falta de efectos ergogénicos tras la ingesta de cafeína en algunos individuos no es evidente, varios investigadores han sugerido que las diferencias interindividuales en respuesta a la cafeína podrían estar relacionadas con polimorfismos genéticos en las proteínas del citocromo P450, enzimas hepáticas responsables del metabolismo de la cafeína. En concreto, el CYP1A2 es una enzima metabólica para diferentes fármacos, con una gran relevancia para el metabolismo de la cafeína, porque cataboliza esta sustancia en paraxantina y otras dimetilxantinas (Perera, Gross y McLachlan, 2012). Un polimorfismo de nucleótido único en el gen CYP1A2 (-163C>A o lo que es lo mismo, una sustitución de citosina (C) por adenina (A) en la posición 163; rs762551) es responsable del alelo CYP1A2\*1F que confiere una capacidad más rápida para metabolizar la cafeína a los homocigotos AA (Ghotbi et al., 2007). En este sentido, los homocigotos AA podrían catabolizar la cafeína en paraxantina con una velocidad más rápida que los individuos heterocigotos CA y/o homocigotos CC (Djordjevic, Ghotbi, Jankovic y Aklillu, 2010), lo que a su vez podría producir un mayor aclara-

miento de esta sustancia en la sangre y reducir los efectos ergogénicos derivados de la ingestión de cafeína en estos individuos.

Varias investigaciones previas han pretendido determinar la influencia del polimorfismo -163C>A sobre los efectos ergogénicos de la cafeína (Algrain et al., 2015; Pataky et al., 2016; Salinero et al., 2017; Womack et al., 2012). Los resultados de estas investigaciones son inconsistentes: los portadores del alelo C (homocigotos CC y heterocigotos CA) experimentaron una mayor mejoría con cafeína ( $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) que los homocigotos AA durante un test de 3 km sobre un cicloergómetro (Pataky et al., 2016). Por el contrario, los homocigotos AA alcanzaron un mejor rendimiento en comparación con los portadores del alelo C después de ingerir cafeína ( $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) antes de un test de 40 km sobre un cicloergómetro (Womack et al., 2012). También se ha concluido que tanto homocigotos AA y portadores del alelo C respondieron de manera similar a  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína a los efectos secundarios y en el rendimiento durante el Wingate test (Salinero et al., 2017). De la misma forma, los efectos ergogénicos de la cafeína ( $\sim 4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) no están modificados por el polimorfismo -163C>A, debido a que el cambio en el rendimiento inducido por la cafeína fue parecido para los homocigotos AA y los portadores del alelo C durante un test donde rodaron 15 min sobre un cicloergómetro a contrarreloj tras consumir (Algrain et al., 2015), sin cambios en la variabilidad de la frecuencia cardíaca post-ejercicio entre genotipos (Thomas et al., 2016). Por tanto, se plantea oportuno aumentar la información científica y objetiva acerca de la variabilidad interindividual en relación a la ergogenicidad de la cafeína, analizando la influencia de la genética sobre sus efectos y específicamente las variaciones en la proteína CYP1A2.



# 4 OBJETIVOS E HIPÓTESIS





## Objetivo principal

La presente Tesis Doctoral tiene dos objetivos principales:

1. Estudiar diferentes aspectos físicos, fisiológicos y notacionales determinantes para el rendimiento en baloncesto.
2. Investigar la influencia de la ingesta de una dosis moderada de cafeína sobre el rendimiento físico y técnico del baloncesto.

## Objetivos específicos e hipótesis

Los objetivos específicos e hipótesis son los siguientes:

**Objetivo 1.** Caracterizar el patrón de actividad de jugadores de baloncesto con experiencia durante un partido de competición utilizando tecnología GPS para explicar las demandas físicas y fisiológicas de este deporte y describir las diferencias entre las distintas posiciones de juego (bases, aleros y pívots).

**Hipótesis 1.** La utilización de tecnología GPS ayudará a determinar el perfil físico del jugador de baloncesto a través de información específica acerca de la distancia total recorrida y la distancia realizada a diferentes intensidades. Existirán también diferencias en las demandas físicas y fisiológicas durante la competición entre bases, aleros y pívots, principalmente en los patrones de movimiento entre las diferentes posiciones.

**Objetivo 2.** Determinar las estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego que mejor explican el número total de victorias en la liga española profesional de baloncesto (ACB) teniendo en cuenta 10 temporadas regulares, así como establecer cuáles son las estadísticas que difieren entre los equipos clasificados para los playoffs, los equipos no clasificados para los playoffs y los equipos que perdieron su categoría en ACB al finalizar la temporada regular.

**Hipótesis 2.** La precisión en el lanzamiento, los rebotes y las asistencias serán las estadísticas más relacionadas con el número de victorias durante la temporada regular en categoría ACB, así como las que diferenciarán a los equipos en función de su clasificación al finalizar la liga regular en ACB.

**Objetivo 3.** Determinar la efectividad de un consumo moderado y agudo de cafeína (3 mg por kg de masa corporal) sobre las capacidades condicionales, habilidades específicas y rendimiento durante un partido en jugadores y jugadoras de baloncesto, así como investigar la prevalencia de efectos secundarios tras la ingesta de esta dosis de cafeína.

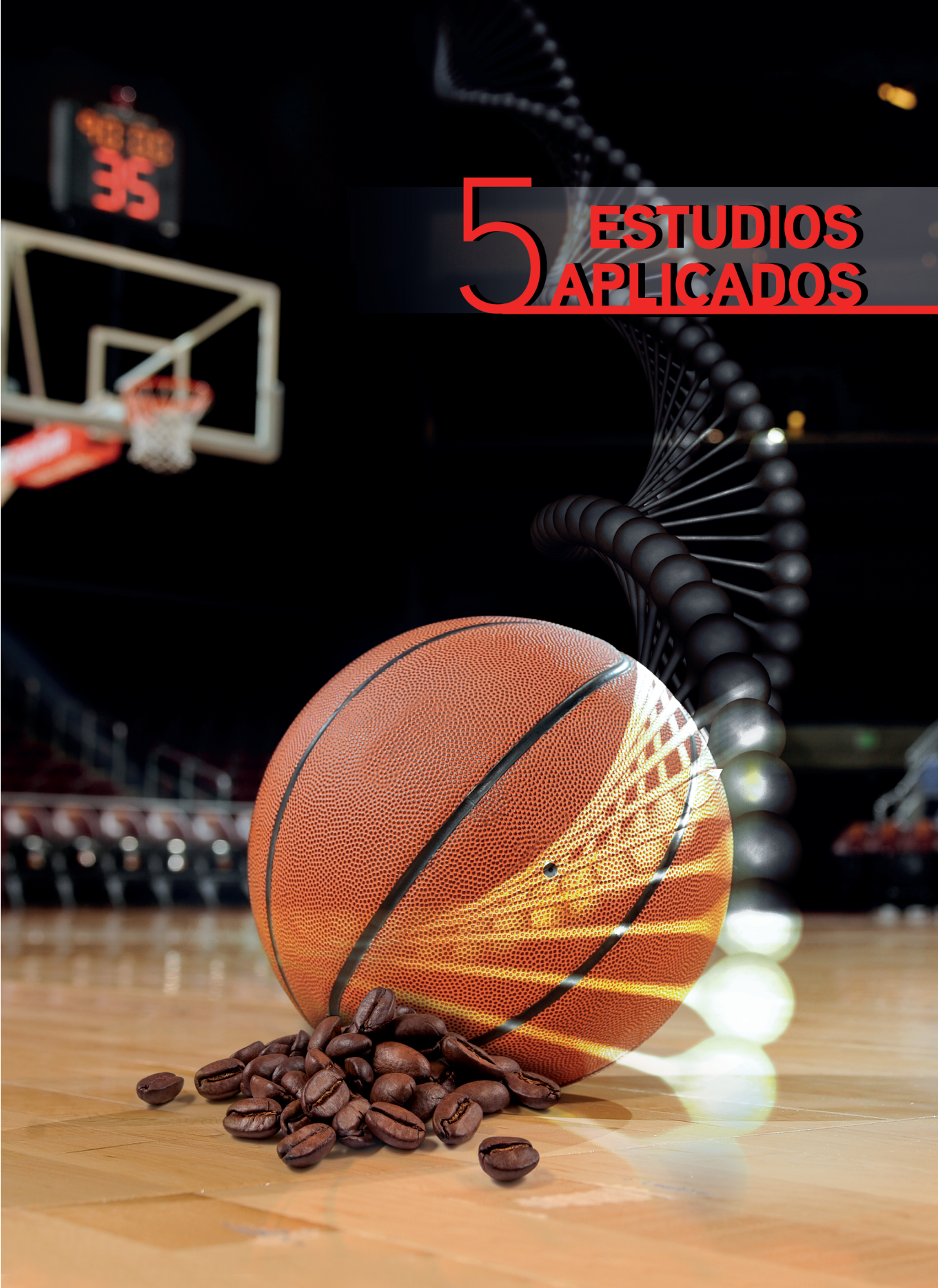
**Hipótesis 3.** Los/as jugadores/as mejorarán su rendimiento en pruebas de resistencia, salto y velocidad con la ingesta de cafeína, mientras que la precisión en el lanzamiento a canasta no variará con el uso de este estimulante. Además, la intensidad durante el partido de baloncesto será significativamente mayor, mejorando también el apartado notacional durante el partido (estadísticas relacionadas con desarrollo del juego) tras la ingesta de 3 mg·kg<sup>-1</sup> de esta sustancia. Por otro lado, el consumo de cafeína en estas cantidades producirá una baja prevalencia de efectos secundarios en las 24 horas siguientes al partido.

**Objetivo 4.** Analizar la influencia de las variaciones genéticas del gen CYP1A2 (-163C>A) que codifica la proteína con el mismo nombre, sobre los efectos ergogénicos derivados de la ingesta de una dosis moderada de cafeína (3 mg·kg<sup>-1</sup>) en el rendimiento en jugadores y jugadoras de baloncesto con experiencia y en los efectos secundarios al consumir esta sustancia.

**Hipótesis 4.** La ergogenicidad y los efectos adversos mostrados tras la ingesta de una dosis moderada de cafeína será similar en los homocigotos AA y portadores del alelo C, variantes genéticas del polimorfismo -163C>A del gen CYP1A2. De esta manera, la genética analizada no explicará las diferencias en la ergogenicidad y en los efectos secundarios derivados de esta sustancia sobre el rendimiento en baloncesto.



# 5 ESTUDIOS APLICADOS





Esta Tesis Doctoral ha sido estructurada en 5 estudios, cuyo denominador común es el baloncesto. El Estudio 1 fue llevado a cabo con jugadores con experiencia previa y en una instalación exterior para describir las demandas físicas y fisiológicas durante un partido de baloncesto mediante el uso de GPS y acelerómetros, para después poder comparar los resultados entre las diferentes posiciones de juego de los jugadores sobre la pista. El Estudio 2, por su parte, consistió en un análisis notacional de las estadísticas relacionadas con el juego, a través de una base de datos de acceso público, teniendo en cuenta 10 temporadas regulares de la máxima categoría del baloncesto español (ACB) para determinar el grado de importancia de las mismas sobre el éxito en este deporte. En el Estudio 3 y el Estudio 4, mediante investigaciones experimentales a doble ciego, controladas con placebo, aleatorizadas y contrabalanceadas, se utilizó la cafeína para evaluar sus efectos sobre variables físicas, fisiológicas y notacionales en jugadores y jugadoras de baloncesto medidas mediante pruebas específicas y a través de un partido simulado. En el Estudio 5 se analizó la influencia de las variantes genéticas del gen CYP1A2 (homocigotos AA y portadores del alelo C) sobre los efectos de la cafeína en el rendimiento en baloncesto. Los estudios que conforman este trabajo mantuvieron un diseño ecológico. La Tabla 2 muestra las 5 investigaciones que integran esta Tesis Doctoral, en las que se resume el diseño, la muestra, las diferentes variables evaluadas, el análisis estadístico utilizado y los principales hallazgos de cada uno de los estudios.

Tabla 2. Descripción de las principales características de los estudios

	ESTUDIO 1	ESTUDIO 2	
<b>DISEÑO</b>	Estudio descriptivo, transversal y de diseño ecológico.	Estudio descriptivo y transversal.	
<b>PARTICIPANTES</b>	25 jugadores de baloncesto experimentados.	10 temporadas regulares de la ACB.	
<b>VARIABLES MEDIDAS</b>	Antropometría, altura del salto, distancia recorrida a diferentes velocidades, frecuencia cardíaca, sprints, número de impactos corporales.	Número de victorias y estadísticas relacionadas con el juego.	
<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b>	Análisis de la varianza de una vía (Kruskal-Wallis) entre bases, aleros y pívots.	r de Pearson (número de victorias y estadísticas relacionadas con el juego), análisis de regresión múltiple y ANOVA de una vía (clasificación de los equipos: clasificados de la 1ª a la 8ª posición, de la 9ª a la 16ª posición y los dos últimos equipos)	
<b>PRINCIPALES RESULTADOS</b>	Los jugadores recorren $82,6 \pm 7,8$ m·min <sup>-1</sup> . El $3 \pm 3\%$ de la distancia total a alta intensidad. La frecuencia cardíaca media marca valores de $169 \pm 8$ lat·min <sup>-1</sup> ( $89,8 \pm 4,4\%$ ). Los pívots muestran menores demandas físicas que el resto de jugadores.	Los puntos recibidos, la precisión en el lanzamiento de 2 y 3 puntos y el número de asistencias son las estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego que mayor relación tienen con el número de victorias conseguidas durante la temporada regular en ACB.	

## llevados a cabo en esta Tesis Doctoral.

	ESTUDIO 3	ESTUDIO 4	ESTUDIO 5
	Estudio experimental a doble ciego, controlado con placebo, aleatorizado y contrabalanceado.	Estudio experimental a doble ciego, controlado con placebo, aleatorizado y contrabalanceado.	Estudio experimental caso-control.
	16 jugadores de baloncesto adolescentes.	20 jugadores y jugadoras de baloncesto con experiencia.	19 jugadores y jugadoras de baloncesto con experiencia.
	<p>1. En test específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Precisión en el lanzamiento de 3 puntos y tiros libres.</li> <li>- Altura, potencia media, pico de potencia y en el/los salto/s.</li> <li>- Distancia recorrida en test de resistencia.</li> </ul> <p>2. Variables urinarias.</p> <p>3. Efectos secundarios.</p>	<p>1. En test específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Altura del salto.</li> <li>- Tiempo del sprint sin y con balón.</li> <li>- Tiros libres anotados.</li> </ul> <p>2. Durante partido simulado: número de impactos corporales, frecuencia cardiaca (media y máxima) y estadísticas relacionadas con el juego.</p> <p>3. Efectos secundarios.</p>	<p>1. En test específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Altura del salto.</li> <li>- Tiempo del sprint sin y con balón.</li> </ul> <p>2. Durante partido simulado: número de impactos corporales, frecuencia cardiaca (media y máxima).</p> <p>3. Efectos secundarios.</p>
	t de Student o Wilkoxon (cafeína-placebo), ANOVA de dos vías (tratamiento x número de salto) y McNemar (efectos secundarios).	t de Student (cafeína-placebo), ANOVA de dos vías (tratamiento x zona de acelerometría) y McNemar (efectos secundarios).	ANOVA de dos vías (tratamiento x grupo genotipo), McNemar (efectos secundarios para tratamiento) y Chi cuadrado (efectos secundarios para grupo genotipo).
	La ingesta de $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína aumentó la altura del salto sin variar la capacidad aeróbica ni la precisión en los test de lanzamiento con una mínima prevalencia de efectos adversos tras la ingesta.	La ingesta de $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína aumentó la altura del salto y mejoró el rendimiento de los jugadores durante el partido, sin variar la precisión en tiros libres, ni la velocidad con y sin balón en el <i>dribbling</i> durante test específicos, mostrando una mínima prevalencia de efectos adversos tras la ingesta.	Las variaciones genéticas del gen CYP1A2 (homocigotos AA y portadores del alelo C) no afectaron a la ergogenicidad y efectos adversos de la cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) sobre el rendimiento en baloncesto.

En el fin principal de un trabajo de tal envergadura subyace la divulgación y publicación de los estudios realizados para que los resultados y conclusiones sean accesibles para otros investigadores, jugadores y entrenadores. En la fecha de impresión de esta Tesis Doctoral, tres de las cinco investigaciones presentadas han sido publicados en revistas con índice de impacto JCR (Estudios 1, 2 y 3), y dos de ellas se encuentran bajo revisión (Estudio 4 y 5) en revistas incluidas dentro del mismo índice. A continuación, la Tabla 3 incluye el nombre de la revista, el año de publicación y el factor de impacto de cada uno de los estudios que dan forma a esta Tesis Doctoral.

**Tabla 3. Nombre de las revistas, año y factor de impacto JCR de los estudios que conforman esta Tesis Doctoral.**

	Nombre de la revista	Año	Impacto JCR
<b>Estudio 1</b>	Journal of Strength and Conditioning Research	2016	1,978
<b>Estudio 2</b>	International Journal of Performance Analysis in Sport	2015	1,014
<b>Estudio 3</b>	Amino Acids	2014	3,293
<b>Estudio 4</b>	Journal of Sports Sciences	En revisión	
<b>Estudio 5</b>	Plos One	En revisión	

# 5.1 ESTUDIO 1

## DEMANDAS FÍSICAS Y FISIOLÓGICAS DE JUGADORES DE BALONCESTO CON EXPERIENCIA DURANTE UN PARTIDO DE COMPETICIÓN

### Objetivos del estudio

El objetivo principal de este estudio fue caracterizar el patrón de actividad de jugadores de baloncesto con experiencia durante un partido de competición, utilizando tecnología GPS para explicar las demandas físicas y fisiológicas de este deporte y describir las diferencias entre las distintas posiciones de juego (bases, aleros y pívots).

### Material y métodos

#### Participantes

Veinticinco jugadores de baloncesto varones de diferentes equipos de nivel nacional se ofrecieron voluntariamente para participar en esta investigación. Los participantes que completaron el estudio tuvieron un promedio  $\pm$  desviación estándar (SD) de edad, masa corporal y estatura de  $25,6 \pm 5,2$  años,  $83,8 \pm 9,3$  kg y  $187,5 \pm 8,5$  cm, respectivamente. La muestra del estudio incluyó bases ( $n=8$ ), aleros ( $n=8$ ) y pívots ( $n=9$ ). Los criterios de inclusión fueron que todos los participantes debían: tener al menos 6 años de experiencia jugando al baloncesto, haber competido como federados en una federación nacional de baloncesto desde la temporada 2009/2010 hasta la temporada 2013/2014 y haber entrenado al menos 4 días por semana durante el año anterior. Entre los criterios de exclusión se incluyó tener un historial de enfermedad cardiopulmonar, tabaquismo y el uso de medicamentos o suplementos nutricionales durante la duración del estudio. Una semana antes al inicio de la investigación, los participantes fueron plenamente informados de los objetivos y los riesgos del estudio, y posteriormente dieron su consentimiento por escrito para participar voluntariamente. El estudio fue aprobado por el Ético de la Universidad Camilo José Cela de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

## Diseño experimental

En esta investigación se utilizó un diseño descriptivo, ecológico y transversal. Los patrones de actividad y las demandas fisiológicas de los jugadores de baloncesto fueron examinados durante un torneo de baloncesto que incluyó partidos de 20 minutos durante una ronda de clasificación de un torneo. Las mediciones se obtuvieron durante el primer día del torneo (desde las 12:00 hasta las 17:00), y los datos correspondieron al primer partido jugado de cada equipo para evitar los efectos de la fatiga en los resultados de la investigación. El torneo se celebró en Madrid, en junio de 2014, al final de la temporada oficial de baloncesto. Los partidos se jugaron en una pista de baloncesto oficial al aire libre (28 x 15 m) con 5 jugadores de cada equipo en la pista (5 x 5). Una semana antes del torneo se animó a los participantes a abstenerse de todas las fuentes dietéticas de cafeína (café, bebidas con cola, chocolate, etc.) y alcohol durante las 48 horas previas al inicio de los ensayos experimentales. Los participantes también fueron instruidos para evitar el ejercicio extenuante el día anterior y para adoptar una dieta precompetitiva que incluía al menos  $7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$  de carbohidratos. El cumplimiento de estas normas fue llevado a cabo mediante diarios dietéticos individualizados. Los datos de estos diarios se utilizaron para calcular la ingesta de energía y macronutrientes mediante un software de nutrición (software PCN, Cesnid, España). El día antes de la competición los jugadores de baloncesto consumieron  $3.739 \pm 255 \text{ kcal}$  (~ 67,4/13,4/19,2% para carbohidratos, proteínas y grasas respectivamente).

## Protocolo experimental

En la mañana del día programado para desarrollar la investigación los participantes llegaron a la instalación y se vistieron con camiseta, pantalones cortos y calzado apropiado. Se midió la masa corporal ( $\pm 50 \text{ g}$ , Radwag, Polonia) y la estatura (modelo 217, Seca, Alemania) de los jugadores. Posteriormente, a cada jugador se le entregó un dispositivo GPS/Acelerómetro insertado en un arnés de neopreno ajustable (GPS, SPI PRO X; GPSports, Australia) y un monitor de frecuencia cardíaca (FC; T34, Polar, Finlandia) atado a su pecho (Figura 2). Cada jugador verificó que el arnés y la banda de FC no impidieran movimientos específicos en baloncesto.

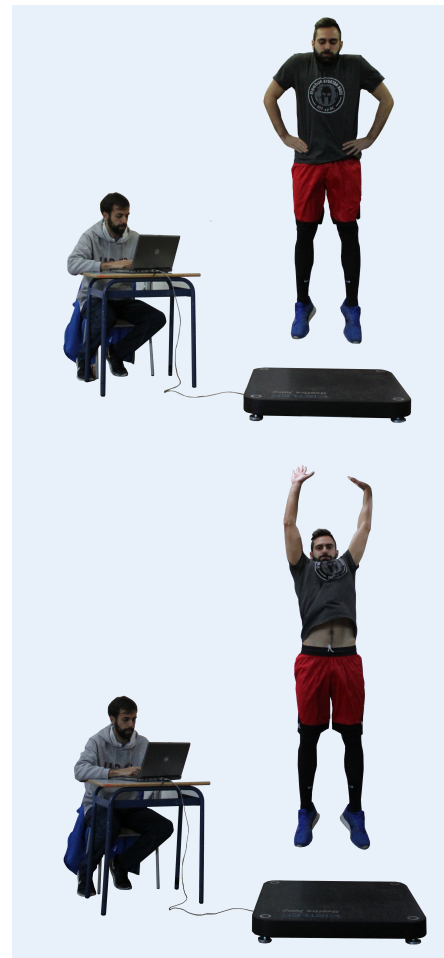
Después realizaron un calentamiento estandarizado de 15 minutos, replicando las rutinas de precompetición de calentamiento, que consistió en una carrera continua seguida de ejercicios específicos con el balón (*dribbling* y lanzamientos). Tras el calentamiento, cada participante realizó 2 saltos con contramovimiento (CMJ) y 2 saltos Abalokov con el fin de alcanzar la altura máxima sobre una plataforma de fuerza (Quattrojump, Kistler, Suiza, con una frecuencia de muestreo de



500 Hz). Para estos saltos, los jugadores comenzaron en posición vertical sobre la plataforma de fuerza con su peso uniformemente distribuido sobre ambos pies. Durante la ejecución del CMJ (Figura 3 superior), colocaron sus manos en su cintura para eliminar la influencia de los brazos en el salto, mientras que el movimiento de los brazos no se restringió durante la ejecución de los saltos Abalakov (Figura 3 inferior). Durante cada uno de los saltos el participante flexionó sus rodillas de manera libre, saltó lo más alto posible, aterrizando con ambos pies. Se estableció un período de 1 minuto de recuperación entre las repeticiones. Para cada tipo de salto, se eligió la repetición en la que el valor de la altura alcanzada por el jugador fuese más alto para el posterior análisis estadístico.



*Figura 2. GPS, acelerómetro y monitor de frecuencia cardíaca ajustado a jugadores de baloncesto.*



*Figura 3. Salto con contramovimiento (superior) y salto Abalakov (inferior).*

Tras esto, los jugadores se dispusieron para participar en su partido asignado en el torneo (Figura 4), que comenzó entre 1 y 5 min después de la medición de los saltos precompetición. Cada partido consistió en 2 mitades de 10 minutos con un descanso de 2 minutos entre ellas, siguiendo las reglas de la FIBA, excepto la duración del partido (International Basketball Federation, 2016). Los tiempos muertos no fueron permitidos debido a las características del torneo. Dos árbitros profesionales tomaron decisiones en cada partido durante la competición. Los participantes jugaron en sus posiciones habituales y los cambios entre jugadores fueron libremente permitidos y anotados para analizar los tiempos de juego individuales. Cada partido fue grabado en video (CX625; Sony, Japón) para facilitar el cálculo de los tiempos de juego individuales, que osciló entre 14 y 20 minutos.



*Figura 4. Partido de baloncesto (5 x 5) en una pista oficial al aire libre.*

Durante los partidos, el dispositivo GPS registró datos sobre la distancia recorrida, la velocidad de carrera instantánea y los impactos del jugador a 15 Hz, mientras que el monitor de frecuencia cardíaca registró datos a 1 Hz. La alta fiabilidad del sistema GPS para medir los patrones de movimiento en los jugadores de

deportes de equipo ha sido previamente investigada (coeficiente de variación del ~ 2%; (Barbero-Alvarez et al., 2010; Coutts y Duffield, 2010)). La FC fue relativizada respecto de la  $FC_{\text{máx}}$  de cada jugador obtenida durante un test de carrera incremental hasta la fatiga en una cinta ergométrica, medida en un día diferente. Las actividades de carrera durante el partido de baloncesto fueron estandarizadas en 5 categorías de velocidad de la siguiente manera (adaptadas de una investigación anterior (McInnes et al., 1995)): zona 1 (parado y andando:  $\leq 6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), zona 2 (*jogging* o baja velocidad de carrera: de 6,1 a 12  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), zona 3 (*running* o velocidad de carrera moderada: de 12,1 a 18  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), zona 4 (alta velocidad de carrera: de 18,1 a 24  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) y zona 5 (máxima velocidad de carrera: 24  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Cualquier actividad de carrera con una velocidad superior a 18  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  y al menos 1 s de duración se consideró como un sprint, tal y como ha sido reportado anteriormente para los deportes de equipo *indoor* jugados en un campo de características similares (fútbol sala y balonmano; (Barbero et al., 2014; Castagna, D'Ottavio, Granda Vera y Barbero Alvarez, 2009)). También se registró el número de aceleraciones y desaceleraciones (Osgnach, Poser, Bernardini, Rinaldo y di Prampero, 2010).

## Análisis Estadístico

La normalidad de todas las variables físicas y fisiológicas se comprobó a través de la prueba de Kolgomorov-Smirnov. Todas las variables incluidas en esta investigación mostraron una distribución normal ( $p > 0,05$ ), por lo que se utilizaron test paramétricos para analizar las diferentes variables. Los datos de los 25 jugadores de baloncesto incluidos en esta investigación se presentan como una promedio grupal  $\pm$  SD (incluyendo el valor mínimo-máximo). Las diferencias en las variables analizadas entre las posiciones de juego (bases, aleros y pivots) se identificaron utilizando un análisis de la varianza de una vía de Kruskal-Wallis. Todos los datos fueron normalizados por el tiempo de juego para comparar individuos con diferentes participaciones durante los partidos. Los jugadores con menos de 10 minutos de tiempo de juego fueron eliminados en el análisis de esta investigación (ya excluidos en la descripción de la muestra previa). El tamaño del efecto ( $d$ ) se calculó en todas las comparaciones por parejas según la fórmula propuesta por Glass, MacGaw y Smith (1984). La magnitud del tamaño del efecto se interpretó utilizando la escala de Cohen (1988) de la siguiente manera: un tamaño del efecto inferior a 0,2 se consideró como pequeño, se consideró como medio un tamaño del efecto alrededor de 0,5 y un valor superior a 0,8 se consideró como tamaño del efecto grande. Para los análisis se utilizó el programa estadístico SPSS 20.0 (SPSS Inc., IBM, Estados Unidos). El nivel de significación estadística se fijó en  $p < 0,05$ .

## Resultados

Los pívots ( $92,1 \pm 8,0$  kg) tuvieron mayores valores de masa corporal ( $p < 0,05$ ;  $d = 1,9$ ) que los bases ( $76,4 \pm 6,0$  kg) y fueron más altos ( $p < 0,05$ ;  $d = 1,9$  y  $2,6$ , respectivamente) que el resto de jugadores (pívots= $195,2 \pm 5,4$  cm; bases= $181,3 \pm 6,9$  cm; aleros= $185,0 \pm 6,3$  cm). Como muestra la Tabla 4, los jugadores cubrieron  $82,6 \pm 7,8$  m·min<sup>-1</sup> ( $68,2 - 97,5$  m·min<sup>-1</sup>) como promedio durante todo el partido. La distancia total recorrida se dividió en 5 zonas a diferentes velocidades, desde estar parado y caminar (zona 1) hasta la velocidad máxima (zona 5). Los jugadores de baloncesto cubrieron la mayor parte de la distancia a velocidades bajas ( $44 \pm 7$  y  $37 \pm 5\%$  de la distancia total se recorrió en la zona 1 y la zona 2, respectivamente). En la zona 3 (carrera a velocidad moderada), los jugadores cubrieron  $15 \pm 3\%$  del total de la distancia, mientras que  $3 \pm 2\%$  de la distancia total fue cubierta a altas velocidades (zona 4). Los jugadores realizaron  $0,2 \pm 0,7$  m·min<sup>-1</sup> ( $0,0 - 3,6$  m·min<sup>-1</sup>) en la zona 5 ( $> 24$  km·h<sup>-1</sup>). Recorrieron el  $3 \pm 3\%$  de la distancia total a una velocidad superior a  $18$  km·h<sup>-1</sup> (incluidas zona 4 y zona 5). De media, realizaron  $0,17 \pm 0,13$  sprints por minuto ( $0,00 - 0,47$  sprints·min<sup>-1</sup>) a más de  $18$  km·h<sup>-1</sup>.

La FC<sub>med</sub> fue de  $169 \pm 8$  lat·min<sup>-1</sup> ( $155 - 189$  lat·min<sup>-1</sup>) durante el partido, lo que corresponde a  $89,8 \pm 4,4\%$  ( $82,7 - 100,0\%$ ; Tabla 5) de la FC<sub>máx</sub> de los jugadores. Hubo una aceleración cada  $14 \pm 4$  s, mientras que una desaceleración tuvo lugar cada  $29 \pm 9$  s. Como promedio, hubo una aceleración y/o una desaceleración cada  $7,1 \pm 1,7$  s ( $3,7 - 10,4$  aceleraciones·s) durante la competición. Además, se registró una media de  $8,2 \pm 1,8$  impactos corporales por encima de  $5$  G cada minuto durante el partido, indicando la alta frecuencia de movimientos explosivos y/o contactos con otros jugadores.

**Tabla 4. Distancias de carrera totales y a diferentes velocidades durante un partido de baloncesto de competición de 20 minutos de duración dependiendo de la posición de juego de los jugadores sobre la pista. Datos presentados con promedio  $\pm$  SD (rango) de bases (n=8), aleros (n=8) y pívots (n=9).**

Variables	Distancia recorrida (m·min <sup>-1</sup> )	Zona 1 (m·min <sup>-1</sup> )	Zona 2 (m·min <sup>-1</sup> )	Zona 3 (m·min <sup>-1</sup> )	Zona 4 (m·min <sup>-1</sup> )	Zona 5 (m·min <sup>-1</sup> )
<b>Bases</b>	$85,3 \pm 7,5$ (71,2-94,3)	$37,7 \pm 2,9$ (35,0-43,2)	$31,5 \pm 6,9$ (19,3-39,5)	$12,9 \pm 3,2$ (7,1-17,9)	$3,1 \pm 1,1$ (1,6-5,3)	$0,1 \pm 0,2$ (0,0-0,6)
<b>Aleros</b>	$86,8 \pm 6,2$ (77,9-97,5)	$37,2 \pm 4,6$ (31,7-45,9)	$32,0 \pm 5,3$ (20,9-39,1)	$15,0 \pm 4,3$ (9,6-23,2)	$2,2 \pm 1,9$ (0,6-5,9)	$0,5 \pm 1,3$ (0,0-3,6)
<b>Pívots</b>	$76,6 \pm 6,0^*$ (68,2-88,2)	$34,6 \pm 3,0$ (30,7-38,9)	$29,5 \pm 5,8$ (21,9-38,1)	$10,9 \pm 3,0$ (6,9-15,5)	$1,6 \pm 1,6$ (0,1-4,2)	$0,0 \pm 0,0$ (0,0-0,0)

Variables	Distancia recorrida (m·min <sup>-1</sup> )	Zona 1 (m·min <sup>-1</sup> )	Zona 2 (m·min <sup>-1</sup> )	Zona 3 (m·min <sup>-1</sup> )	Zona 4 (m·min <sup>-1</sup> )	Zona 5 (m·min <sup>-1</sup> )
<b>Todos</b>	82,6 ± 7,8 (68,2-97,5)	36,4 ± 3,7 (30,7-45,9)	30,9 ± 5,9 (19,3-39,5)	12,8 ± 3,8 (6,9-23,2)	2,3 ± 1,6 (0,1-5,9)	0,2 ± 0,7 (0,0-3,6)

Parado y andando (zona 1), *jogging* o baja velocidad de carrera (zona 2), *running* o velocidad de carrera moderada (zona 3), alta velocidad de carrera (zona 4) y máxima velocidad de carrera (zona 5).

(\*) Diferente frente a los aleros ( $p < 0,05$ ).

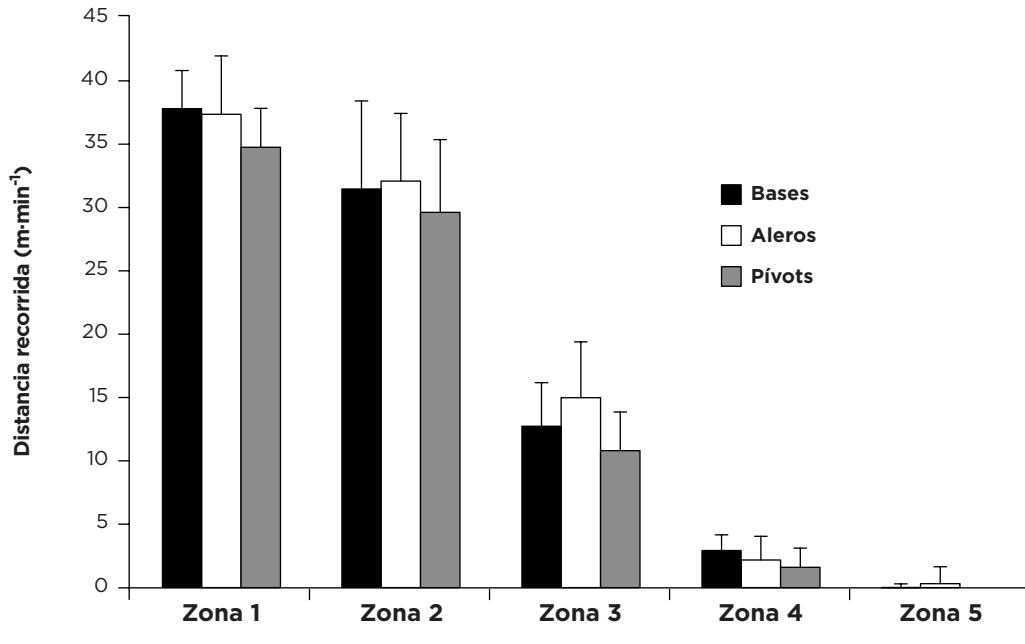
Teniendo en cuenta las posiciones de los jugadores sobre la pista, las cargas internas de los participantes difirieron considerablemente durante el partido. Los pivots cubrieron menos distancia por minuto que los aleros ( $p < 0,05$ ;  $d=1,6$ ; Tabla 4), y la velocidad de carrera máxima de los bases fue significativamente mayor ( $p < 0,05$ ;  $d=1,7$ ) que la de los pivots tal como indica la Tabla 5. Los bases y los aleros también realizaron más aceleraciones y desaceleraciones que los pivots ( $p < 0,05$ ;  $d=1,2$  y  $1,8$ , respectivamente; Tabla 5). Sin embargo, la distribución de las actividades de carrera en función de la velocidad de la misma no fue estadísticamente diferente entre las posiciones de juego (Figura 5).

**Tabla 5. Diferentes variables analizadas en relación a las demandas físicas y fisiológicas durante un partido de baloncesto de competición de 20 minutos de duración y altura del salto medida a través de un CMJ y un salto Abalakov dependiendo de la posición de juego de los jugadores sobre la pista. Datos presentados con promedio ± SD (rango) de bases (n=8), aleros (n=8) y pivots (n=9).**

Variables	Velocidad máxima (km·h <sup>-1</sup> )	FC <sub>máx</sub> (%)	Sprints (sprints·min <sup>-1</sup> )	Acel/Decel (acele/decel·min <sup>-1</sup> )	CMJ (m)	Salto Abalakov (m)
<b>Bases</b>	24,0 ± 1,6 (21,4 - 26,6)	89,6 ± 4,7 (82,7 - 95,5)	0,23 ± 0,08 (0,10 - 0,34)	8,0 ± 2,0 (4,8 - 10,4)	0,58 ± 0,03 (0,53 - 0,61)	0,65 ± 0,03 (0,60 - 0,68)
<b>Aleros</b>	22,4 ± 3,9 (18,6 - 30,6)	87,8 ± 3,2 (83,8 - 91,0)	0,18 ± 0,18 (0,00 - 0,47)	7,7 ± 1,1 (6,6 - 9,3)	0,58 ± 0,05 (0,49 - 0,64)	0,64 ± 0,06 (0,55 - 0,71)
<b>Pivots</b>	21,3 ± 1,6* (18,1 - 23,0)	92,7 ± 4,7 (89,4 - 100,7)	0,12 ± 0,11 (0,00 - 0,28)	5,7 ± 1,0*† (3,7 - 6,8)	0,57 ± 0,02 (0,53 - 0,61)	0,63 ± 0,04 (0,56 - 0,71)
<b>Todos</b>	22,5 ± 2,7 (18,1 - 30,6)	89,8 ± 4,4 (82,7 - 100,7)	0,17 ± 0,13 (0,00 - 0,47)	7,1 ± 1,7 (3,7 - 10,4)	0,58 ± 0,04 (0,49 - 0,64)	0,64 ± 0,04 (0,55 - 0,71)

CMJ=Salto con contramovimiento; FC<sub>máx</sub>=Frecuencia cardíaca máxima; Acel/Decel=Suma de aceleraciones y desaceleraciones durante el partido.

(\*) Diferente frente a los bases ( $p < 0,05$ ); (†) Diferente frente a los aleros ( $p < 0,05$ ).



*Figura 5. Distancias de carrera a diferentes velocidades durante un partido de baloncesto de competición de 20 minutos de duración dependiendo de la posición de juego de los jugadores sobre la pista. Datos presentados con promedio  $\pm$  SD (rango) de bases (n=8), aleros (n=8) y pívots (n=9).*

*Parado y andando (zona 1), jogging o baja velocidad de carrera (zona 2), running o velocidad de carrera moderada (zona 3), alta velocidad de carrera (zona 4) y máxima velocidad de carrera (zona 5).*

# 5.2 ESTUDIO 2

## ESTADÍSTICAS RELACIONADAS CON EL DESARROLLO DEL JUEGO EN BALONCESTO DESDE EL AÑO 2003 A 2013 EN CATEGORÍA ACB EN TEMPORADA REGULAR.

### Objetivos del estudio

Determinar qué estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego son las que mejor explican el número total de victorias obtenidas durante la temporada regular en la máxima liga española profesional de baloncesto (ACB), teniendo en cuenta un total de 10 temporadas regulares. Un segundo objetivo fue establecer qué estadísticas medidas durante el partido difieren entre los equipos clasificados para los playoffs, los equipos no clasificados para los playoffs y los equipos que perdieron su categoría en ACB al finalizar la temporada regular.

### Materiales y métodos

#### Diseño experimental

Se desarrolló una investigación descriptiva y transversal en la que se recogieron los datos de las estadísticas oficiales de la ACB (Asociación de Clubes de Baloncesto, 2014) durante las temporadas regulares desde el año 2003 al año 2013 (10 temporadas).

#### Protocolo experimental

Se registraron las estadísticas acumuladas de 18 equipos en cada temporada (34 partidos por temporada regular por equipo), incluyendo, por tanto, un total de 3.060 partidos de baloncesto, ordenando los equipos y por ende sus estadísticas acumuladas por orden de clasificación al finalizar cada una de las temporadas regulares de la ACB analizadas en esta investigación (10 temporadas: desde el año 2003 al año 2013). La temporada 2008/2009 fue excluida de este estudio porque participaron solo 17 equipos en la competición. Se registraron las siguientes estadísticas

acumuladas de juego: puntos a favor, puntos recibidos, tiros libres y lanzamientos de 2 y 3 puntos (anotados, intentados y precisión), rebotes ofensivos, defensivos y totales, asistencias, recuperaciones de balón, pérdidas de balón, tapones cometidos y recibidos, mates y faltas recibidas y cometidas. La clasificación de cada equipo al final de cada temporada regular fue registrada con el objetivo de separar a los equipos clasificados para los playoffs, los equipos que no se clasificaron para los playoffs y los dos últimos equipos en cada temporada. El estudio fue aprobado por el Comité Ético de la Universidad Camilo José Cela de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

## Protocolo experimental

Utilizamos la correlación “r” de Pearson para evaluar la asociación entre todas las estadísticas relacionadas con el juego y el número de victorias durante la temporada regular. Para cada indicador estadístico relacionado con el juego hemos calculado el intervalo de confianza del 95% (95% IC) para todas las correlaciones. También se realizó un análisis de regresión múltiple en modo interactivo “paso a paso” con el objetivo de evaluar cada estadística relacionada con el juego y su influencia en las victorias logradas en temporada regular. Para este cálculo, se incluyeron las variables en base a su correlación con el residual ( $p < 0,1$ ) y su intercorrelación con variables ya incluidas en la ecuación. La ecuación de regresión producida se aceptó a un nivel de significación de  $p < 0,01$ . Posteriormente, los valores de  $r^2$  se ajustaron para el número de casos y el número de parámetros en el análisis. Utilizando los coeficientes de regresión estandarizados, la contribución relativa de las diferentes variables a la varianza explicada se calculó de la siguiente manera:

Contribución parcial  $r^2$  ajustada = ([Coeficiente de regresión estandarizado para el parámetro] /  $\Sigma$  [de todos los coeficientes de regresión estandarizados en la ecuación]).

Se comparó el número real de victorias de las temporadas regulares de 2013/2014 y 2014/2015 con el número previsto de victorias, a partir del cálculo obtenido con el análisis de regresión múltiple propuesto en esta investigación. Utilizamos las correlaciones de Pearson y los coeficientes de correlación intraclase para evaluar la asociación entre el número real y el número previsto de victorias para los equipos de baloncesto que compitieron en estas dos temporadas regulares.

Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) de una vía para determinar si hubo diferencias significativas en las estadísticas de juego entre los equipos clasificados para los playoffs (clasificados de la 1ª a la 8ª posición), los equipos que no se clasificaron para los playoffs (clasificados de la 9ª a la 16ª posición) y los dos últimos equipos (clasificados en las posiciones 17ª y 18ª) al finalizar la temporada regular. Después de una prueba F significativa, las diferencias entre las medias se



identificaron usando la prueba *post hoc* de Tukey HSD. El tamaño del efecto ( $d$ ) se calculó cuando se encontró una diferencia estadística entre los grupos utilizando la fórmula propuesta por Glass et al. (1984). La magnitud del tamaño del efecto se interpretó utilizando la escala de Cohen (Cohen, 1988), tal y como se ha descrito para el Estudio 1. También se calcularon los 95% IC para las diferencias de medias entre los grupos. Para los análisis se utilizó el programa estadístico SPSS 20.0 (SPSS Inc., IBM, Estados Unidos). El nivel de significación estadística se fijó en  $p < 0,05$ .

## Resultados

Las correlaciones significativas de todas las estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego con respecto al número de victorias conseguidas durante en temporada regular se presentan en la Tabla 6. La precisión en el lanzamiento de 2 puntos, el número total de asistencias y el número de puntos (a favor y recibidos) durante la temporada regular fueron las variables que mejor correlacionaron con el número de triunfos en la temporada ( $p < 0,01$ ). Sin embargo, la precisión en tiros libres fue la variable con la menor correlación (aunque significativa) en relación al número de victorias en temporada regular ( $p = 0,02$ ). Los tiros libres anotados e intentados, los lanzamientos de 2 y 3 puntos intentados, rebotes ofensivos y faltas recibidas y cometidas no correlacionaron con el número de victorias obtenidas ( $p > 0,05$ ).

**Tabla 6. Correlación entre el número de victorias conseguidas y las estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego en baloncesto desde el año 2003 a 2013 en categoría ACB en temporada regular.**

Variables	Pearson (95% CI)	$p$
Puntos a favor	0,57 (0,55/0,59)	0,01
Puntos recibidos	-0,57 (-0,59/-0,55)	<0,01
Lanzamientos de 3 puntos anotados	0,34 (0,31/0,37)	<0,01
Precisión en el lanzamiento de 3 puntos	0,44 (0,41/0,47)	<0,01
Lanzamientos de 2 puntos anotados	0,35 (0,32/0,38)	<0,01
Precisión en el lanzamiento de 2 puntos	0,66 (0,64/0,68)	<0,01
Precisión en tiros libres	0,17 (0,14/0,20)	0,02
Rebotes defensivos	0,39 (0,36/0,42)	<0,01
Rebotes totales	0,31 (0,29/0,34)	<0,01
Asistencias	0,59 (0,57/0,61)	<0,01
Recuperaciones de balón	0,30 (0,27/0,33)	<0,01
Pérdidas de balón	-0,37 (-0,40/-0,34)	<0,01
Tapones cometidos	0,34 (0,31/0,37)	<0,01
Tapones recibidos	-0,44 (-0,47/-0,41)	<0,01
Mates	0,40 (0,37/0,43)	<0,01

95% CI=Intervalo de confianza del 95% para la correlación.

El análisis de regresión múltiple que mejor explicó el número de victorias durante la temporada regular incluye: precisión en tiros libres y en el lanzamiento de 2 y 3 puntos (%), rebotes ofensivos y defensivos, asistencias, recuperaciones y pérdidas de balón y tapones recibidos. Este análisis de regresión explicó el 76,1% ( $r^2$  ajustado) de la varianza total en el número de triunfos ( $p < 0,001$ ) de la siguiente manera:

Número de victorias =  $-99,8 + (0,434 \times \text{precisión en el lanzamiento de 3 puntos}) + (0,613 \times \text{precisión en el lanzamiento de 2 puntos}) + (0,326 \times \text{precisión en tiros libres}) + (0,036 \times \text{rebotes ofensivos}) + (0,044 \times \text{rebotes defensivos}) + (0,014 \times \text{asistencias}) + (0,038 \times \text{recuperaciones de balón}) + (-0,028 \times \text{pérdidas de balón}) + (-0,060 \times \text{tapones recibidos})$ .

La Figura 6 muestra la varianza en el número de victorias en temporada regular explicada para cada variable incluida en el análisis de regresión. El número de victorias depende del éxito en los indicadores de precisión (lanzamiento de 2 y 3 puntos y tiros libres, que explican el 26% de la varianza), el número total de rebotes (ofensivos y defensivos, 23%), el número de recuperaciones de balón (9%), pérdidas de balón (7%), asistencias (6%) y el número de tapones recibidos (6%). Para probar la exactitud de este modelo predictivo basado en las estadísticas de los equipos ACB en temporada regular desde 2003 a 2013, hemos comparado el número real de victorias y previsto de victorias según el modelo para las temporadas 2013/2014 y 2014/2015. Curiosamente, las correlaciones para el número real-previsto de victorias fue 0,94 ( $p < 0,001$ ) para la temporada 2013/2014 y 0,81 ( $p < 0,001$ ) para la temporada 2014/2015 (Figura 7). Además, los coeficientes de correlación intraclase fueron 0,95 y 0,88 para estas dos temporadas regulares, respectivamente.

La Tabla 7 muestra las diferencias en las estadísticas relacionadas con el juego entre los ocho primeros equipos clasificados, los siguientes ocho clasificados (puestos desde el 9º al 17º) y los dos últimos equipos que perdieron la categoría al final de la temporada regular. Las variables que diferenciaron a los tres grupos analizados fueron: número de puntos recibidos, precisión en el lanzamiento de 2 y 3 puntos y el número de asistencias ( $p < 0,05$ ). Por su parte, los equipos clasificados para los playoffs obtuvieron valores mayores que el resto de equipos en puntos a favor, puntos recibidos, precisión en el lanzamiento de 2 y 3 puntos, lanzamiento de 3 puntos anotados, número de rebotes defensivos y totales, asistencias, pérdidas de balón, tapones recibidos y cometidos y mates ( $p < 0,05$ ). Curiosamente, los efectos de mayor tamaño se obtuvieron en la precisión en el lanzamiento de 2 y 3 puntos. El número de puntos recibidos, asistencias y la precisión en tiros libres y lanzamiento de 2 y 3 puntos también fueron diferentes entre los equipos desde la 9ª hasta la 16ª posición de la clasificación y los equipos que perdieron la categoría ( $p < 0,05$ ).

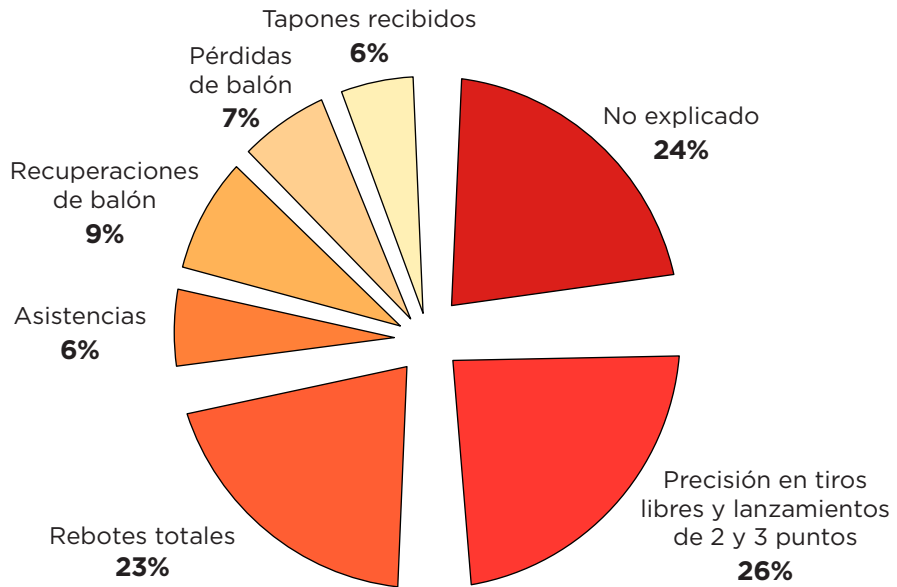


Figura 6. Porcentaje del total de la varianza correspondiente al número de victorias explicado por las estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego desde el año 2003 a 2013 en categoría ACB en temporada regular.

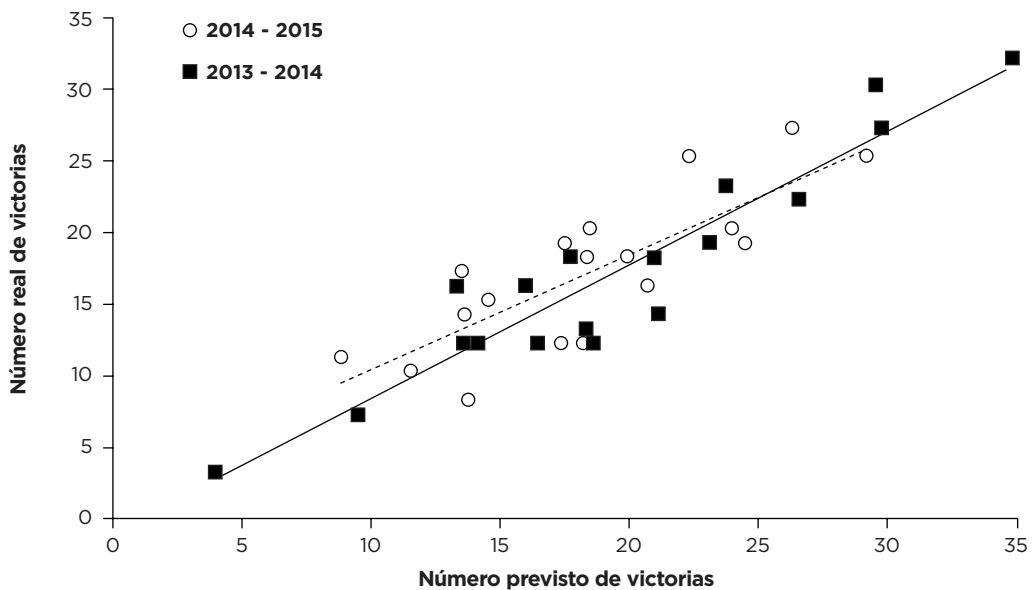


Figura 7. Correlación entre el número real y el número de victorias previstas para las temporadas regulares 2013/2014; 2014/2015 en categoría ACB.

**Tabla 7. Estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego en que no se clasificaron para playoffs (No playoffs) y los dos últimos en categoría ACB. Datos presentados con promedio  $\pm$  SD para 10**

Variables	Playoffs	No playoffs	Categoría perdida
Puntos a favor	2712 $\pm$ 134*	2597 $\pm$ 125	2527 $\pm$ 115
Puntos recibidos	2552 $\pm$ 121*	2696 $\pm$ 127 <sup>#</sup>	2775 $\pm$ 126
Lanzamientos de 3 puntos anotados	263 $\pm$ 29*	246 $\pm$ 34	227 $\pm$ 38
Lanzamientos de 3 puntos intentados	719 $\pm$ 75	698 $\pm$ 82	679 $\pm$ 98
Precisión en el lanzamiento de 3 puntos (%)	36,7 $\pm$ 2,4*	35,2 $\pm$ 2,6 <sup>#</sup>	33,4 $\pm$ 2,8
Lanzamientos de 2 puntos anotados	704 $\pm$ 61 <sup>†</sup>	671 $\pm$ 60	671 $\pm$ 54
Lanzamientos de 2 puntos intentados	1328 $\pm$ 104	1330 $\pm$ 109	1380 $\pm$ 107
Precisión en el lanzamiento de 2 puntos (%)	53,0 $\pm$ 2,5*	50,4 $\pm$ 2,0 <sup>#</sup>	48,6 $\pm$ 1,7
Tiros libres anotados	518 $\pm$ 67	515 $\pm$ 68	504 $\pm$ 69
Tiros libres intentados	692 $\pm$ 91	689 $\pm$ 89	692 $\pm$ 100
Precisión en tiros libres (%)	75,0 $\pm$ 3,4 <sup>#</sup>	74,9 $\pm$ 2,9 <sup>#</sup>	72,9 $\pm$ 3,6

baloncesto de los equipos clasificados para playoffs (Playoffs), equipos clasificados (Categoría perdida) al finalizar la liga regular temporadas regulares (desde el año 2003 al 2013).

Playoffs vs No Playoffs	Playoffs vs Categoría perdida	No Playoffs vs Categoría perdida
115,3 (67,2/163,4); $d=0,89$	185,6 (109,8/261,4); $d=1,42$	70,3 (-5,5/146,1); $d=0,57$
-114,2 (-191,4/-98,5); $d=-1,1$	-223,8 (-297,1/-150,1); $d=-1,83$	-79,6 (-153,8/-6,2); $d=-0,63$
17,4 (5,4/29,5); $d=0,55$	36,2 (17,1/55,2); $d=1,18$	18,7 (-0,4/37,8); $d=0,54$
20,9 (-9,3/51,1); $d=0,27$	39,4 (-8,3/87,2); $d=0,50$	18,5 (-29,3/66,3); $d=0,22$
1,5 (0,6/2,4); $d=0,60$	3,3 (1,8/4,8); $d=1,33$	1,8 (0,3/3,3); $d=0,70$
32,6 (10,3/56,0); $d=0,54$	33,4 (-2,0/68,7); $d=0,56$	0,8 (-34,6/36,1); $d=0,01$
-2,1 (-42,0/37,9); $d=-0,02$	-51,7 (-114,8/11,5); $d=0,49$	-749,6 (-112,8/13,6); $d=-0,46$
2,6 (1,8/3,4); $d=1,19$	4,4 (3,1/5,8); $d=1,83$	1,8 (0,5/3,2); $d=0,93$
3,1 (-22,2/28,3); $d=0,05$	13,6 (-26,3/53,5); $d=0,20$	10,6 (-29,4/50,5); $d=0,15$
3,3 (-30,8/37,3); $d=0,04$	-0,6 (-54,5/53,2); $d=0,01$	-3,9 (-57,8/50,0); $d=0,04$
0,1 (-1,1/1,3); $d=0,04$	2,1 (0,2/9,8); $d=0,61$	2,0 (0,1/3,9); $d=0,63$

Variables	Playoffs	No playoffs	Categoría perdida
Rebotes ofensivos	361±46	351±37	368±36
Rebotes defensivos	783±46*	762±39	742±36
Rebotes totales	1144±57*	1113±51	1111±55
Asistencias	484±54*	425±50 <sup>#</sup>	393±37
Recuperaciones de balón	288±42 <sup>†</sup>	267±31	269±29
Pérdidas de balón	461±38*	482±32	490±40
Tapones cometidos	99±23*	88±19	86±15
Tapones recibidos	86±12*	98±15	103±18
Mates	71±25*	71±25*	48±20
Faltas cometidas	735±56	737±53	755±60
Faltas recibidas	738±52	738±52	735±52

Para todos los promedios entre grupos se calculó el 95% del intervalo de confianza y el tamaño  
 (\*) Diferente frente a No playoffs y Categoría perdida; (†) Diferente frente a No playoffs;

Playoffs vs No Playoffs	Playoffs vs Categoría perdida	No Playoffs vs Categoría perdida
10,0 (-5,4/25,4); $d=0,24$	-7,3 (-31,6/17); $d=0,16$	17,3 (-41,6/7,0); $d=0,47$
21,1 (5,3/37,0); $d=0,49$	40,7 (15,7/65,8); $d=0,91$	19,6 (-5,4/44,6); $d=0,51$
31,1 (10,9/51,4); $d=0,58$	33,5 (1,5/65,4); $d=0,59$	2,3 (-29,6/34,3); $d=0,05$
59,2 (40,2/78,1); $d=1,14$	91,3 (61,4/121,2); $d=1,78$	32,1 (2,2/62,0); $d=0,67$
21,9 (8,3/35,5); $d=0,59$	19,2 (-2,3/40,7); $d=0,48$	-2,8 (-24,3/18,8); $d=0,09$
-20,4 (-33,8/-7,1); $d=0,58$	-28,4 (-49,5/-7,2); $d=0,73$	-7,9 (-29,1/13,2); $d=0,24$
10,5 (2,9/18,1); $d=0,50$	13,0 (0,9/25,1); $d=0,61$	2,5 (-9,6/14,6); $d=0,14$
-12,1 (-17,5/-6,7); $d=0,87$	-17,1 (-25,5/-8,6); $d=1,24$	-5 (-13,5/3,5); $d=0,31$
16,9 (8,5/25,3); $d=0,74$	22,7 (9,4/36,0); $d=0,95$	5,9 (-7,4/19,1); $d=0,29$
-2,0 (-22,7/18,6); $d=0,04$	-20,5 (-53,2/12,1); $d=0,36$	-18,5 (-51,1/14,2); $d=0,34$
0,6 (-18,9/19,6); $d=0,01$	4,1 (-26,6/34,8); $d=0,08$	3,6 (-27,1/34,2); $d=0,07$

del efecto ( $d$ ).

(#) Diferente frente a Categoría perdida.





# 5.3 ESTUDIO 3

## UNA BEBIDA ENERGÉTICA CON CAFÉINA MEJORA EL RENDIMIENTO DEL SALTO EN JUGADORES ADOLESCENTES DE BALONCESTO.

### Objetivos del estudio

El objetivo de la presente investigación fue determinar la efectividad de una bebida energética comercialmente disponible con cafeína (3 mg de cafeína por kg de peso corporal) sobre habilidades técnicas y físicas de jugadores adolescentes de baloncesto.

### Materiales y métodos

#### Participantes

Dieciséis jugadores jóvenes de baloncesto varones participaron voluntariamente en este estudio. Todos eran miembros de un equipo de baloncesto en categoría cadete que competía en la máxima categoría a nivel nacional. Tenían una edad media  $\pm$  SD de  $14,9 \pm 0,8$  años, masa corporal de  $73,4 \pm 12,4$  kg, estatura de  $182,3 \pm 6,5$  cm y grasa corporal de  $17,6 \pm 3,1\%$ . Todos los participantes tenían una experiencia jugando a este deporte de al menos 6 años y se habían entrenado durante  $12,0 \pm 0,4$  horas·semana<sup>-1</sup> durante el año anterior. Ningún participante tenía antecedentes de enfermedad cardiopulmonar o estaba tomando medicamentos durante el estudio. Los participantes se sometieron a un examen físico antes de inscribirse en el estudio y eran consumidores de dosis moderadas de cafeína (< 60 mg/día, ~ 1 taza de café o 1 lata de refresco Coca-Cola®). Cada participante y sus padres o su tutor/a fueron informados de los procedimientos experimentales y los riesgos asociados de la investigación y el consentimiento informado fue firmado por ambos. El estudio fue aprobado por el Comité Ético de la Universidad Camilo José Cela de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

## Diseño experimental

En esta investigación se utilizó un diseño experimental, doble ciego, controlado con placebo, aleatorizado y contrabalanceado. Cada jugador realizó dos ensayos experimentales en las mismas condiciones (instalación interior a  $22,0 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$  de temperatura ambiental y  $28,8 \pm 1,0\%$  de humedad relativa). En una ocasión, los participantes ingirieron una bebida energética en polvo con cafeína (Fure, ProEnergetics, España) disuelta en 250 mL de agua. La cantidad de bebida energética se estableció con el fin de proporcionar individualmente a cada jugador  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína. En la otra ocasión, los participantes ingirieron la misma bebida energética, pero sin contenido de cafeína (0 mg de cafeína, placebo). A petición de los investigadores, la bebida placebo fue proporcionada por el fabricante y tuvo el mismo aspecto y sabor de la bebida energética que contenía cafeína. Las bebidas energéticas incluían taurina ( $18,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), bicarbonato sódico ( $4,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), L-carnitina ( $1,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) y maltodextrina ( $6,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Estas sustancias fueron ingeridas en proporciones idénticas en los dos ensayos, y solamente la cantidad de cafeína administrada a cada jugador fue diferente entre las dos pruebas experimentales ( $220,2 \pm 37,1$  mg de cafeína uno de los ensayos frente a 0 mg de cafeína con la bebida placebo). Las bebidas fueron ingeridas 60 min antes del inicio de las pruebas experimentales para permitir la absorción completa de la cafeína y se les proporcionó en botellas opacas de plástico para evitar la identificación. El orden de los ensayos experimentales fue contrabalanceado (8 jugadores consumieron cafeína y 8 jugadores consumieron placebo antes de cada ensayo experimental) y se asignaron al azar. Dichos ensayos fueron desarrollados con una separación de una semana para permitir el lavado completo de la cafeína y la recuperación de los jugadores. A cada ensayo y a cada sujeto se le asignó un código alfanumérico para que ni los investigadores ni los participantes supieran el tipo de bebida que se estaba testando en cada ensayo. Este código fue revelado después del análisis estadístico de las variables.

## Protocolo experimental

Dos días antes de las pruebas experimentales, los participantes se pesaron desnudos para calcular la dosis de bebida energética exacta. También se calculó su porcentaje de grasa corporal utilizando un sistema de bioimpedancia (modelo BC-418 Tanita Co., Tokio, Japón). El día antes de cada ensayo, los jugadores se abstuvieron de hacer ejercicio extenuante y adoptaron una dieta similar y un régimen de ingesta de líquidos. Los participantes fueron animados a abstenerse de todas las fuentes dietéticas de cafeína (café, bebidas con cola, chocolate, etc.) las 48 horas previas a las pruebas. Estas estandarizaciones fueron reportadas al personal técnico del equipo de baloncesto para asegurar el cumplimiento.

Los participantes llegaron a la cancha de baloncesto 75 min antes del inicio del ensayo. Se tomó una muestra representativa de orina de cada jugador en un recipiente esterilizado y se congeló de inmediato a  $-30^{\circ}\text{C}$ . A continuación, la bebida asignada para el ensayo se suministró individualmente 60 minutos antes de las pruebas. Los investigadores prestaron atención a los jugadores durante el proceso de ingesta de la bebida para evitar el intercambio de botellas entre los jugadores y para asegurarse de que todos ellos bebieron el líquido en su totalidad. Tras esto, los participantes realizaron un calentamiento estandarizado de 15 minutos, replicando las rutinas de precompetición, que consistió en una carrera continua previa a ejercicios específicos con el balón (*dribbling* y lanzamientos). Después del calentamiento, los participantes realizaron cinco pruebas diferentes en la cancha de baloncesto en el siguiente orden (con un descanso de 5 minutos entre pruebas): test de tiros libres, test de lanzamiento de 3 puntos, salto con contramovimiento, test de saltos máximos en 15 segundos y test del Yo-Yo de recuperación intermitente. Durante y después de los tests, los participantes tenían libre acceso para hidratarse con agua *ad libitum*. Entre treinta y sesenta minutos después del último test se obtuvo una muestra de orina. Después de eso, los participantes debían rellenar un cuestionario sobre sus sensaciones de potencia muscular, resistencia y el ratio de esfuerzo percibido (RPE) teniendo en cuenta todos los tests incluidos en cada ensayo experimental. Este cuestionario incluyó una escala de 1 a 10 puntos para evaluar cada ítem y se informó previamente a los participantes de que 1 punto significaba una puntuación mínima de ese ítem y 10 puntos significaba la puntuación máxima del mismo. Tras cumplimentar el cuestionario, los participantes recibieron una encuesta para rellenar a la mañana siguiente. La encuesta contenía ítems como la calidad del sueño, nerviosismo, problemas gastrointestinales y otros efectos secundarios o molestias durante las 24 horas posteriores a los ensayos experimentales. Esta encuesta incluyó ocho ítems en una escala dicotómica (sí/no) habiéndose utilizado previamente para evaluar los efectos secundarios derivados de la ingesta de bebidas energéticas (Del Coso et al., 2012b). A continuación se describen los tests utilizados para cada ensayo experimental:

**Test de tiros libres.** Para este test seguimos los estándares establecidos por la Federación Internacional de Baloncesto (FIBA). El jugador se situó detrás de la línea de tiro libre (a una distancia de 5,8 m de la línea de fondo y a 4,6 m de la canasta) y realizó 12 series de dos tiros libres cada una (24 tiros libres en total). Los participantes descansaron 30 s entre series teniendo una cantidad de tiempo suficiente para concentrarse en lanzar. El objetivo del diseño de este test fue el de simular una situación de lanzamiento después de una falta durante una situación de juego real. El número de tiros libres anotados (total y por serie) fue registrado por un investigador cegado al tratamiento. La reproducibilidad entre días de este test fue obtenida previamente en 22 jugadores adolescentes de baloncesto (con el mismo nivel

que los participantes de esta investigación) analizada en dos días diferentes de la misma semana. El coeficiente de variación fue del 7% y el coeficiente de correlación intraclase fue de 0,85.

**Test de lanzamiento de 3 puntos.** Este test fue una versión adaptada de la diseñada por Dougherty, Baker, Chow y Kenney (2006). Los participantes realizaron tres lanzamientos desde siete lugares diferentes a lo largo de la línea de tres puntos (6,25 m de la línea de fondo), para un total de 21 lanzamientos. Los jugadores tuvieron que moverse de una posición a la otra y el número total de lanzamientos tenía que realizarse en 1 minuto o menos. Los jugadores cogían el balón de un carro para realizar la prueba de manera continuada. El número de lanzamientos de tres puntos anotados en la prueba fue registrado por un investigador cegado al tratamiento. Como en el test anterior, la reproducibilidad entre días se obtuvo previamente en 22 jugadores adolescentes de baloncesto registrados en dos días diferentes de la misma semana. El coeficiente de variación fue del 12,3% y el coeficiente de correlación intraclase fue de 0,74.

**CMJ.** Los participantes realizaron dos saltos máximos con contramovimiento sobre una plataforma de fuerzas con un 1 minuto de descanso entre ambos (Quattrojump, Kistler, Suiza, con una frecuencia de muestreo de 500 Hz), eligiendo el mejor para evaluar la altura del salto y la producción de potencia del tren inferior. La ejecución de este salto fue descrita en el Estudio 1. La altura (calculada a partir del tiempo de vuelo), la producción de potencia media durante la fase concéntrica y la potencia pico del salto se obtuvieron a partir de las fuerzas de reacción del suelo. Una investigación anterior determinó que la fiabilidad entre días de todas las variables obtenidas durante un CMJ fue alta y el coeficiente de variación menor al 2% (Cormack, Newton, McGuigan y Doyle, 2008).

**Test de saltos máximos en 15 segundos.** Se determinó la altura máxima del salto vertical en una serie de saltos con rebote durante 15 s usando la plataforma de fuerzas descrita anteriormente. Para este test, los participantes se situaron en posición vertical con su peso uniformemente distribuido sobre ambos pies. Cada jugador colocó sus manos en su cintura con el fin de eliminar la influencia de los brazos en el salto. Tras esto, el participante flexionó las rodillas y saltó lo más alto posible, manteniendo las manos en la cintura, repitiendo esta acción durante 15 s. La flexión de rodillas fue libremente elegida en cada salto. Se animó verbalmente a los jugadores para alentarlos y conseguir su máximo rendimiento en cada repetición. Se obtuvo la altura y la potencia media durante la fase concéntrica de cada salto. La producción de potencia muscular total del tren inferior se calculó a partir de la potencia obtenida en cada salto y el número de saltos realizados. La fiabilidad entre días para las variables obtenidas durante el test utilizado ha sido satisfactoria en un estudio previo (Cormack et al., 2008).

**Test del Yo-Yo de recuperación intermitente, nivel 1.** Este ensayo se llevó a cabo de acuerdo con métodos previamente descritos (Castagna, Impellizzeri, Rampinini, D'Ottavio y Manzi, 2008b; Krstrup et al., 2003). El test consistió en carreras de 20 m realizadas a velocidades crecientes con 10 s de recuperación activa entre carreras hasta el agotamiento (Figura 8). Se consideró que el participante había acabado el test cuando no completó por dos veces la distancia estipulada en el tiempo previsto (evaluación objetiva) o cuando se sintió incapaz de completar otra carrera a la velocidad dictada (evaluación subjetiva). Se registró la distancia total cubierta durante el test. El coeficiente de variación para este test se ha establecido previamente en 4,9% (Krstrup et al., 2003).

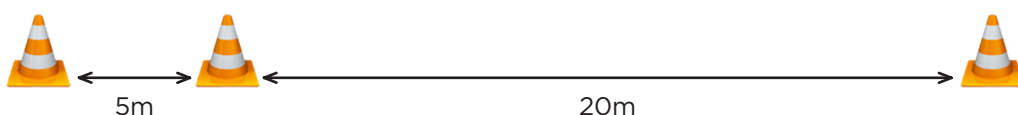


Figura 8. **Test del Yo-Yo de recuperación intermitente, nivel 1.**

**Análisis de orina.** Las muestras de orina obtenidas antes y después de cada ensayo experimental se analizaron para determinar las concentraciones de cafeína, paraxantina, teobromina y teofilina utilizando un sistema *High-performance Liquid Chromatography* (HPLC, modelo 1200, Agilent Technologies, Estados Unidos) acoplado a un espectrómetro de masas (MS). Todos los reactivos utilizados para estas mediciones se adquirieron de Cambridge Isotope Laboratories (España). Para esta medición se añadieron 20  $\mu\text{l}$  del estándar interno teofilina-D6 ( $2 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) y 20  $\mu\text{l}$  del estándar interno 13C3 - cafeína ( $5 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) a 100  $\mu\text{L}$  de la muestra de orina. Se añadió un volumen de 900  $\mu\text{l}$  de fase móvil (ácido acético 0,1%) a la muestra de orina y se aplicaron directamente 5  $\mu\text{L}$  de esta muestra al sistema HPLC-MS. Para calibrar el sistema, se utilizaron soluciones acuosas de cafeína, paraxantina y teobromina (de 0,1 a  $7 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) y teofilina (de 0,04 a  $1 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) antes de cada lote de muestras. Los coeficientes de correlación para la calibración de la cafeína y sus principales metabolitos fueron siempre  $> 0,99$ . El límite inferior para la cuantificación exacta de estas metilxantinas fue 0,25 para la cafeína, paraxantina y teobromina y  $0,1 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  para la teofilina.

### Análisis estadístico

Inicialmente, se probó la normalidad en todas las variables con la prueba de Shapiro-Wilk. Se usó la prueba t de Student para muestras dependientes con el objetivo de establecer las diferencias en las variables que mostraron una distribución normal entre el ensayo de bebida energética con cafeína y el ensayo con la

bebida energética placebo. Para las variables no paramétricas, las diferencias entre el ensayo de bebida energética con cafeína y el ensayo con bebida placebo se establecieron con la prueba de Wilcoxon. La altura del salto y la potencia muscular de piernas durante los saltos máximos en 15 s se analizaron usando un ANOVA de dos vías (tratamiento x repetición) con medidas repetidas. Para los análisis se utilizó el programa estadístico SPSS 20.0 (SPSS Inc., IBM, Estados Unidos). El nivel de significación estadística se fijó en  $p < 0,05$ .

## Resultados

**Pruebas de lanzamiento.** Como muestra la Tabla 8, en comparación con el placebo, la ingestión de la bebida energética que contenía cafeína no aumentó el número total de tiros libres anotados ( $p=0,45$ ). Además, la bebida energética con cafeína no afectó la precisión de los primeros 12 tiros ( $p=0,31$ ) ni de los 12 últimos tiros ( $p=0,15$ ) en comparación con la bebida placebo. Del mismo modo, la ingestión de la bebida que contenía cafeína no aumentó la precisión durante el test de lanzamiento de tres puntos ( $p=0,33$ ), ya sea en los primeros 10 lanzamientos ( $p=0,39$ ) o en los últimos 11 lanzamientos ( $p=0,20$ ).

**Tabla 8. Precisión (%) en tiros libres y lanzamiento de tres puntos durante dos pruebas específicas de baloncesto tras la ingestión de una bebida energética con cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio  $\pm$  SD para 16 jugadores adolescentes de baloncesto.**

Variables	Placebo	Cafeína	<i>p</i>
Tiros libres total	70,7 $\pm$ 11,8	70,3 $\pm$ 11,0	0,45
Tiros libres P12TL	62,5 $\pm$ 14,6	65,6 $\pm$ 18,5	0,31
Tiros libres U12TL	78,1 $\pm$ 14,8*	76,0 $\pm$ 17,5*	0,15
Lanzamiento de 3 puntos total	39,9 $\pm$ 11,8	38,1 $\pm$ 12,8	0,33
Lanzamiento de 3 puntos P10L	38,7 $\pm$ 18,2	36,9 $\pm$ 21,8	0,39
Lanzamiento de 3 puntos U11L	41,2 $\pm$ 16,2	36,9 $\pm$ 14,5	0,20

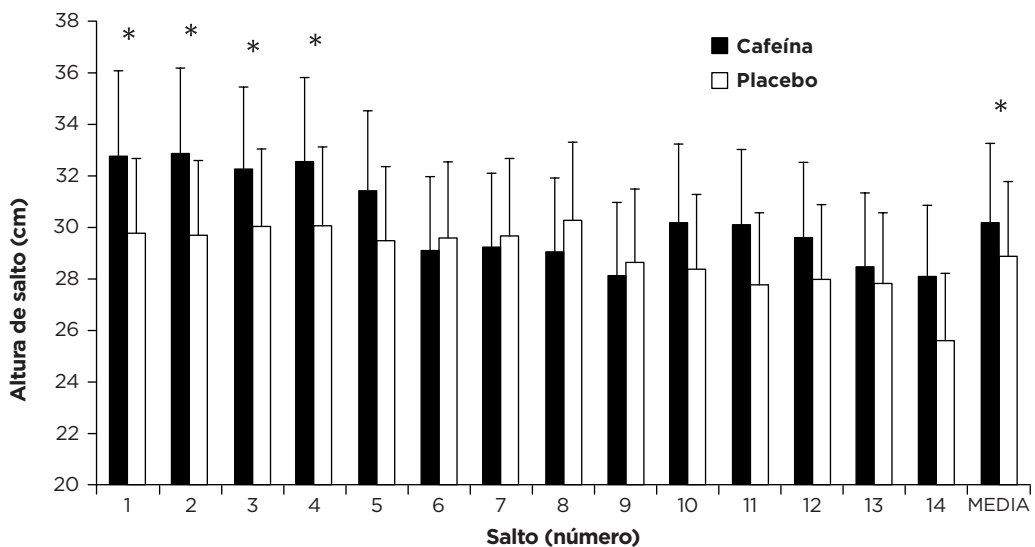
12TL=primeros 12 tiros libres; U12TL=últimos 12 tiros libres; P10L=primeros 10 lanzamientos; U11L=últimos 11 lanzamientos.

(\*) Diferente frente a la primera serie de lanzamientos ( $p < 0,05$ ).

**CMJ.** En comparación con la bebida que contenía placebo, la ingesta de la bebida energética que llevaba cafeína aumentó la altura del CMJ de  $37,5 \pm 4,4$  a  $38,3 \pm 4,4$  cm ( $p < 0,05$ ). No hubo diferencias significativas entre la bebida energética que contenía cafeína y la bebida placebo en la producción de potencia media

durante la fase concéntrica del salto (placebo= $30,1 \pm 3,5 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$  vs cafeína= $30,4 \pm 2,8 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;  $p=0,32$ ) o potencia de pico (placebo= $53,8 \pm 5,5 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$  vs cafeína= $53,9 \pm 5,0 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;  $p=0,45$ ).

**Test de saltos máximos en 15 segundos.** Como indica la Figura 9, durante la serie de saltos máximos en 15 s, los jugadores de baloncesto alcanzaron una altura del salto promedio más alta con la ingesta de la bebida energética con cafeína que con placebo (placebo= $28,8 \pm 3,4 \text{ cm}$  vs cafeína= $30,2 \pm 3,6 \text{ cm}$ ;  $p<0,05$ ). Esta diferencia también fue significativa cuando se compararon los primeros cuatro saltos ( $p<0,05$ ). Después de la ingesta de la bebida con cafeína, los jugadores de baloncesto tuvieron una mayor potencia media del tren inferior (placebo= $49,4 \pm 4,6 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$  vs cafeína= $51,4 \pm 5,7 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;  $p<0,05$ ) y, por tanto, una mayor producción total de potencia durante todo el test (placebo= $48,6 \pm 9,5 \text{ kW}$  vs cafeína= $52,3 \pm 13,5 \text{ kW}$ ;  $p<0,05$ ).



(\*) Diferente frente a placebo ( $p<0,05$ ).

**Figura 9.** Altura del salto medida a través de un test de saltos con rebote durante 15 segundos realizada por 16 jugadores adolescentes de baloncesto tras la ingestión de una bebida energética con cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio  $\pm$  SD para 16 jugadores adolescentes de baloncesto.

**Yo-Yo de recuperación intermitente, nivel 1.** No hubo diferencias significativas en la distancia cubierta durante el test entre el ensayo con la bebida energética que contenía cafeína y el ensayo con la bebida placebo (placebo= $1.925 \pm 702 \text{ m}$  vs cafeína= $2.000 \pm 706 \text{ m}$ ;  $p=0,19$ ).

**Excreción urinaria de cafeína.** Las muestras de orina pre-ejercicio presentaron concentraciones bajas de cafeína y paraxantina y fueron similares en ambos ensayos experimentales (Tabla 9). Después del ensayo con la bebida energética que contenía cafeína, las concentraciones de cafeína y paraxantina en la orina aumentaron significativamente en comparación con los valores previos al ensayo ( $p < 0,05$ ). En contraste, las concentraciones urinarias de cafeína y paraxantina permanecieron sin cambios o se redujeron ligeramente después del ensayo con la bebida placebo. La concentración de teobromina disminuyó después de ambos ensayos experimentales (no fue significativo el cambio después del ensayo en el que se utilizó la bebida con cafeína) y la teofilina permaneció sin cambios durante las pruebas.

**Tabla 9. Variables de orina ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) antes y después de pruebas físicas y técnicas específicas de baloncesto tras la ingestión de una bebida energética con cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio  $\pm$  SD para 16 jugadores adolescentes de baloncesto.**

Variables		Placebo	Cafeína
Cafeína	Pre	0,1 $\pm$ 0,1	0,1 $\pm$ 0,1
	Post	0,1 $\pm$ 0,1	1,2 $\pm$ 0,7* <sup>†</sup>
Paraxantina	Pre	0,9 $\pm$ 1,0	0,5 $\pm$ 0,4
	Post	0,4 $\pm$ 0,5 <sup>†</sup>	1,7 $\pm$ 1,1* <sup>†</sup>
Teobramina	Pre	4,5 $\pm$ 4,2	7,5 $\pm$ 9,1
	Post	2,4 $\pm$ 2,3 <sup>†</sup>	3,5 $\pm$ 4,3
Teofilina	Pre	0,3 $\pm$ 0,6	0,2 $\pm$ 0,3
	Post	0,2 $\pm$ 0,3	0,4 $\pm$ 0,7

(\*) Diferente frente a placebo ( $p < 0,05$ ); (†) Diferente frente a Pre ( $p < 0,05$ ).

**Evaluación perceptiva y frecuencia de los efectos secundarios.** En comparación con la bebida placebo, la ingestión pre-ejercicio de la bebida energética que contenía cafeína aumentó la percepción de potencia muscular (placebo=5,2  $\pm$  1,2 unidades arbitrarias (A.U.) vs cafeína=7,1  $\pm$  1,1 A.U.;  $p < 0,05$ ) y resistencia (placebo=5,1  $\pm$  1,1 A.U. vs cafeína=6,6  $\pm$  1,4 A.U.;  $p < 0,05$ ), mientras que disminuyó RPE (placebo=5,7  $\pm$  2,3 A.U. vs cafeína=4,6  $\pm$  1,8 A.U.;  $p < 0,05$ ). En las siguientes horas al ensayo, la bebida con cafeína aumentó también el vigor/actividad percibido/a; sin embargo, el resto de efectos secundarios permanecieron invariables (Tabla 10).



**Tabla 10. Prevalencia (%) de los efectos secundarios durante las 24 horas posteriores a la ingestión de una bebida energética con cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio para 16 jugadores adolescentes de baloncesto.**

Variables	Placebo	Cafeína
Dolor de cabeza	12,5	6,3
Molestias de tripa/abdominales	6,3	12,5
Dolor muscular	25	31,3
Incremento del vigor/actividad	0	37,5*
Taquicardia y palpitaciones cardíacas	0	0
Insomnio	0	12,5
Incremento de la producción de orina	0	0
Incremento de la ansiedad	0	0

(\*) Diferente frente a placebo ( $p < 0,05$ ).



# 5.4 ESTUDIO 4

## LA CAFEÍNA MEJORA EL RENDIMIENTO EN BALONCESTO EN JUGADORES SÉNIOR CON EXPERIENCIA.

### Objetivos del estudio

El objetivo de esta investigación fue determinar los efectos de ingerir  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína sobre el rendimiento en baloncesto de jugadores con experiencia evaluados mediante pruebas específicas y a través de un partido de baloncesto simulado.

### Materiales y métodos

#### Participantes

Veinte jugadores de baloncesto con experiencia y bien entrenados, de dos equipos diferentes, se ofrecieron voluntariamente para participar en esta investigación. La muestra incluyó a 10 mujeres profesionales de este deporte (edad:  $27,9 \pm 6,1$  años, estatura:  $175,2 \pm 0,1$  cm, masa corporal:  $70,9 \pm 13,0$  kg, grasa corporal:  $16,8 \pm 5,4\%$ , masa corporal:  $47,1 \pm 4,3\%$ ) y 10 varones semi-profesionales (edad:  $27,1 \pm 4,0$  años, estatura:  $193,1 \pm 8,8$  cm, masa corporal:  $89,5 \pm 13,5$  kg, grasa corporal:  $11,8 \pm 3,1\%$ , masa corporal:  $48,3 \pm 2,4\%$ ). Todos los participantes habían tenido una experiencia previa de baloncesto de al menos 10 años y habían entrenado al menos  $2 \text{ hora}\cdot\text{día}^{-1}$ ,  $5 \text{ días}\cdot\text{semana}^{-1}$  (incluyendo una competición semanal) durante el año anterior. Los jugadores no tenían historial previo de enfermedades cardiopulmonares y no estaban tomando medicamentos o estimulantes simpáticos durante la duración de la investigación. Además, todos los participantes eran no fumadores y consumidores de cafeína en pequeñas dosis ( $< 100 \text{ mg}\cdot\text{día}^{-1}$ ). Todas las jugadoras que tomaron parte en esta investigación fueron evaluadas durante la fase lútea de su ciclo menstrual. Antes de inscribirse en el estudio, los jugadores estaban plenamente informados de los riesgos y efectos secundarios asociados

con los ensayos y firmaron su consentimiento informado por escrito para participar. La investigación fue aprobada por el Comité de Ética de la Universidad Camilo José Cela de acuerdo con la última versión de la Declaración de Helsinki.

## Diseño experimental

En esta investigación se utilizó un diseño experimental, doble ciego, controlado con placebo, aleatorio y contrabalanceado. Cada participante participó en dos ensayos en las mismas condiciones experimentales, replicando el modelo de investigación propuesto para el Estudio 3. Se estableció una semana de descanso entre ambos ensayos experimentales para permitir la recuperación completa y el lavado de cafeína. Cada ensayo se realizó la misma hora del día (de 19:00 a 21:00 horas) y con las mismas condiciones ambientales (instalación interior a  $18,5 \pm 0,8$  °C,  $30,8 \pm 1,0\%$  de humedad relativa). En una ocasión, los participantes ingirieron 3 mg de cafeína por kg de masa corporal ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; 99% de pureza, BulkPowders, Reino Unido; mujeres= $191,3 \pm 76,7$  mg; hombres= $268,4 \pm 40,6$  mg) en una cápsula opaca e inidentificable. En otra ocasión, los participantes ingirieron una cápsula opaca idéntica llena de una sustancia placebo (celulosa). La cápsula se ingirió 60 min antes del inicio de los ensayos experimentales para permitir la absorción completa de cafeína. El orden de los ensayos experimentales (cafeína o placebo) fue aleatoria y contrabalanceada. Sin embargo, el orden de los ensayos se estableció para que todos los jugadores del mismo equipo recibieran el mismo tratamiento en el mismo ensayo experimental (cafeína o placebo) para facilitar el análisis del rendimiento de cada uno de los equipos durante el partido simulado. Al igual que en el anterior estudio, las dosis fueron preparadas por un investigador que no participó en los ensayos, que asignó un código alfanumérico a cada ensayo para cegar a participantes e investigadores de la sustancia ingerida por cada equipo.

## Protocolo experimental

Una semana antes de los ensayos experimentales, los jugadores se sometieron a un examen físico para asegurar que tenían un buen estado de salud. Después, los participantes se pesaron desnudos ( $\pm 50$  g, Radwag, Polonia) para individualizar las dosis de cafeína. El mismo día, las características antropométricas fueron registradas por un antropometrista certificado por la Sociedad Internacional para el avance de la Cineantropometría (ISAK) y el porcentaje de grasa corporal se calculó utilizando seis pliegues cutáneos (Figura 10; (Marfell-Jones y Stewart, 2011)). Tal y como se realizó en el Estudio 3, los participantes también fueron animados por los investigadores a abstenerse de la ingestión de cafeína en cualquier forma (café, cola, bebidas energéticas, etc.) durante la duración de la investigación. El día antes de cada ensayo experimental, los participantes se

abstuvieron de hacer ejercicio extenuante y adoptaron una dieta similar y un régimen de ingesta de líquidos. También se les indicó que tomaran su comida habitual antes de la competición, al menos tres horas antes del inicio de los ensayos experimentales. Todas estas estandarizaciones fueron reportadas al personal técnico del equipo para asegurar el cumplimiento, confirmado éste por diarios dietéticos y de entrenamiento individualizados.



**Figura 10. Ejemplo de una medida de las características antropométricas tomada a una jugadora de baloncesto.**

El día del ensayo, los participantes llegaron a su cancha habitual de baloncesto 75 minutos antes del comienzo de las pruebas. Ingerieron después la cápsula asignada para el ensayo con 150 mL de líquido. Posteriormente se vistieron con su ropa habitual de competición (camiseta, pantalones cortos y zapatillas de baloncesto). A cada jugador se le entregó un dispositivo GPS/Acelerómetro insertado en un arnés de neopreno ajustable (GPS, SPI PRO X; GPSports, Australia) y un monitor de frecuencia cardíaca (FC; T34, Polar, Finlandia) atado a su pecho. Cada jugador verificó que el arnés y la banda de FC no impidieran movimientos específicos en baloncesto. Cada jugador ajustó el arnés y la banda de frecuencia cardíaca para evitar cualquier obstaculización de los movimientos durante el juego. Los jugadores usaron la misma unidad GPS para cada ensayo experimental para reducir el error de medición. Tras esto, los jugadores realizaron un calentamiento estandarizado y específico durante 30 minutos, dirigido por su preparador físico. Después del calentamiento, los jugadores comenzaron las pruebas de rendimiento, que consistieron

en 10 repeticiones de una combinación de saltos, sprints y lanzamientos (2 min de recuperación entre repeticiones). En cada repetición, los jugadores de baloncesto realizaron un salto Abalakov (Optojump, Microgate, Italia; (Rodríguez-Rosell, Mora-Custodio, Franco-Marquez, Yanez-Garcia y Gonzalez-Badillo, 2017), seguido por el test de cambio de dirección y aceleración (CODAT; Figura 11; DSD Sport System, España; (Lockie, Schultz, Callaghan, Jeffriess y Berry, 2013)) y dos tiros libres. No hubo tiempo de recuperación entre el salto y el sprint, pero se estableció un período de recuperación de 14 s entre el sprint y los tiros libres para replicar el parón previo al lanzamiento de tiros libres (basado en un análisis realizado en 100 partidos oficiales en la misma categoría de baloncesto). El CODAT se realizó sin balón (de 1ª a 5ª repetición) y con balón de baloncesto (de 6ª a 10ª repetición) para evaluar la influencia de la cafeína sobre la velocidad de carrera y la influencia o no del control del balón. Se dieron instrucciones verbales para indicar el inicio de cada repetición y hubo una retroalimentación oral estandarizada por parte del personal técnico para animar a los jugadores a producir el máximo rendimiento en cada repetición.

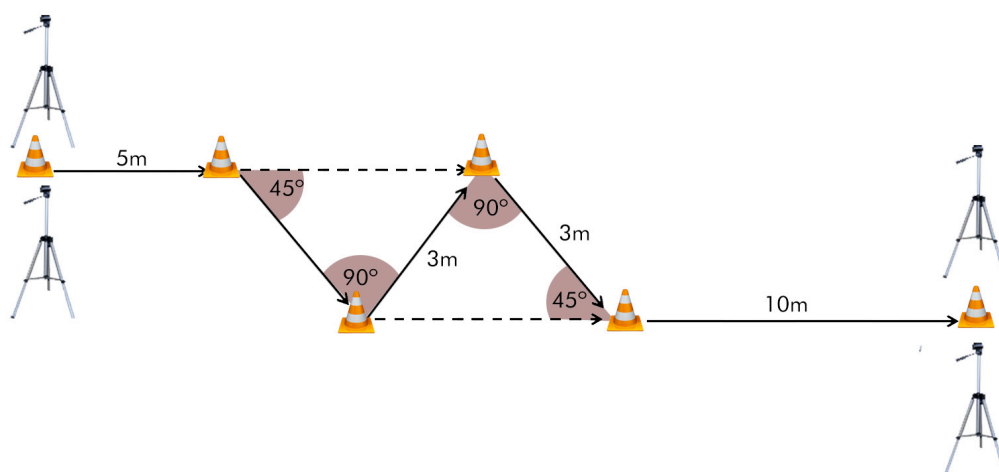


Figura 11. Test de cambio de dirección y aceleración (CODAT).

Veinte minutos después de las pruebas específicas de baloncesto, los jugadores participaron en un partido simulado jugado en una cancha de baloncesto simulado (Figura 12). El partido consistió en dos partes de 10 minutos con un descanso de 2 minutos entre ellas, siguiendo las reglas de la Federación Internacional de Baloncesto (FIBA, excepto por la duración del juego). Dos árbitros profesionales tomaron las decisiones durante los partidos. Cada equipo de estaba compuesto de los mismos jugadores en ambos ensayos experimentales: un base, dos aleros y dos pivots. Los equipos

fueron conformados previamente por el personal técnico con el fin de crear un partido igualado entre los mismos. Los tiempos muertos y los cambios no estaban permitidos. En cada partido, los jugadores fueron obligados a realizar una defensa individual y a atacar sin sistemas de juego predeterminados. Los partidos simulados fueron grabados y analizados después por dos especialistas en anotación estadística relacionada con el juego. Al igual que en el Estudio 2, se recogieron las siguientes estadísticas: puntos totales, tiros libres y lanzamientos de 2 y 3 puntos (anotados, intentados y precisión), rebotes ofensivos, defensivos y totales, asistencias, recuperaciones de balón, pérdidas de balón, tapones cometidos y recibidos, mates y faltas recibidas y cometidas. Con todas estas variables, se calculó el *performance index rating* (PIR=puntos + rebotes totales + asistencias + robos + tapones cometidos + faltas recibidas) - (lanzamientos fallados + pérdidas de balón + faltas cometidas) según lo propuesto por la FIBA (Arrieta, Torres-Unda, Gil y Irazusta, 2016). Además, los impactos corporales y la frecuencia cardíaca fueron monitoreados continuamente durante el partido usando dispositivos GPS/Acelerómetro/FC con configuración *indoor*. Los datos de impacto del jugador se obtuvieron del acelerómetro y se midieron en unidades de fuerza "G" (Zona 1  $\leq 0,99$  G; Zona 2 de 1,00 a  $\leq 1,99$  G; Zona 3 de 2,00 a  $\leq 2,99$  G; Zona 5 de 3,00 a  $\leq 3,99$  G; Zona 5 de 4,00 a  $\leq 4,99$  G; Zona 6  $\leq 5,00$  G; (Abian et al., 2015)). Aunque esta medida no era específica para diferenciar entre diferentes acciones de baloncesto (cambios de dirección, saltos, contactos, etc.), permitió cuantificar los movimientos corporales individuales durante el partido en cada ensayo experimental.



Figura 12. **Partido de baloncesto femenino simulado.**

Al final del partido de baloncesto, los jugadores debían rellenar un cuestionario sobre sus sensaciones de potencia muscular, resistencia y RPE durante todo el ensayo y una encuesta para evaluar los efectos secundarios durante las 24 horas posteriores a los ensayos experimentales. Ambos documentos fueron utilizados y explicados previamente en el Estudio 3.

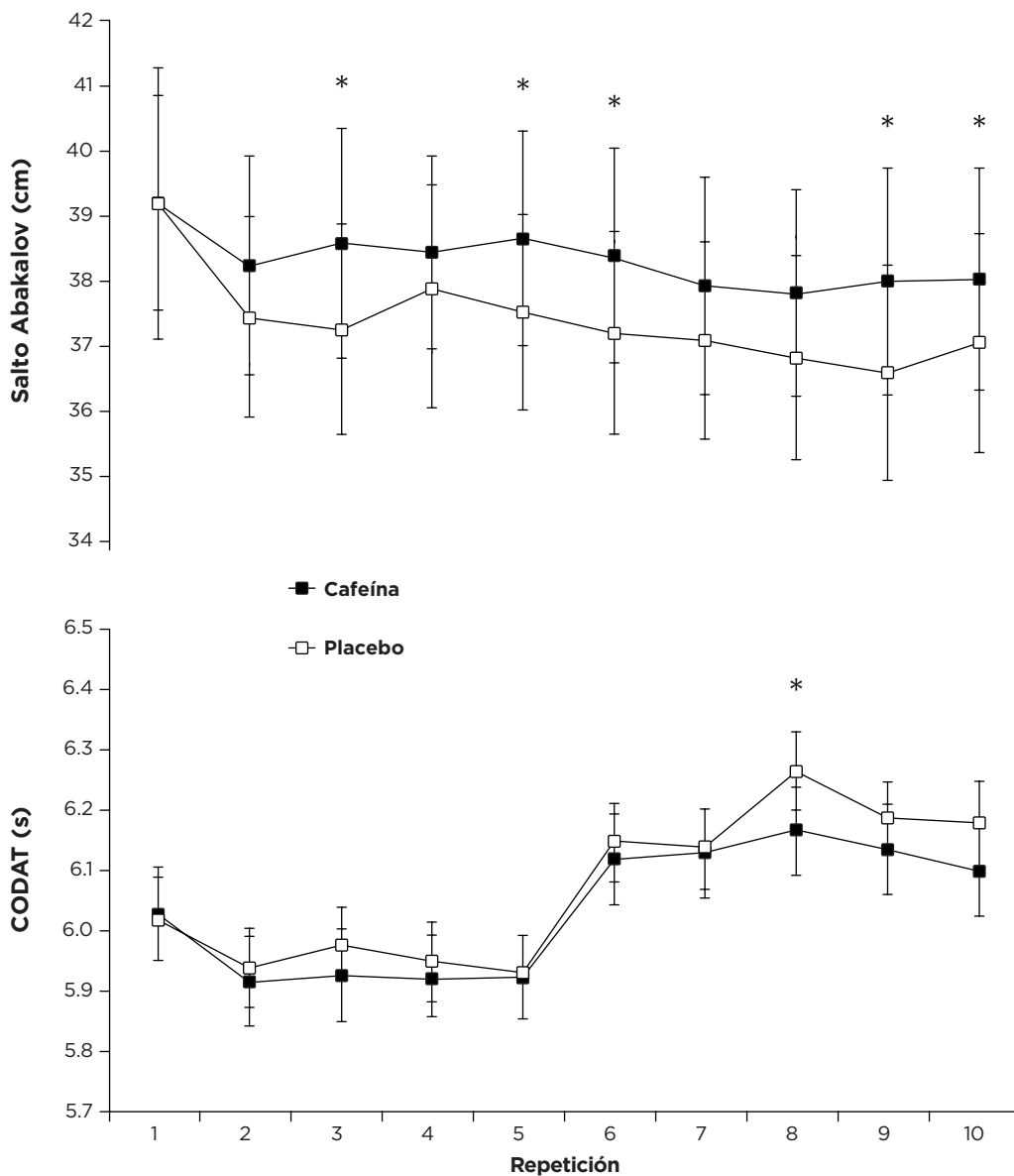
## Análisis estadístico

Los jugadores y las jugadoras de baloncesto incluidos en esta investigación fueron tratados como un solo grupo en el análisis estadístico, pues no se han encontrado diferencias en investigaciones previas en cuanto al género sobre el uso de cafeína para evaluar sus efectos sobre el rendimiento deportivo (Duncan y Hankey, 2013; Salinero et al., 2014). En primer lugar, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para probar la normalidad de cada variable. Todas las variables mostraron una distribución normal ( $p > 0,05$ ). Posteriormente, se utilizó la prueba t de Student para establecer diferencias significativas entre el ensayo con cafeína y el ensayo con el placebo en las variables dependientes obtenidas una sola vez en cada ensayo experimental. Se utilizó un ANOVA de dos vías para determinar diferencias entre tratamientos para las diferentes zonas de acelerometría. La prueba de McNemar se utilizó para detectar diferencias en las frecuencias de los efectos secundarios notificados después de la ingestión de cada tratamiento. El tamaño del efecto ( $d$ ) se calculó para determinar el efecto de la cafeína en cada grupo experimental según la fórmula propuesta por Glass et al. (1984). La magnitud del tamaño del efecto se interpretó utilizando la escala de la magnitud del tamaño del efecto de Cohen (Cohen, 1988) tal y como se realizó en estudios anteriores. Para los análisis se utilizó el programa estadístico SPSS 20.0 (SPSS Inc., IBM, Estados Unidos). El nivel de significación estadística se fijó en  $p < 0,05$ .

## Resultados

Como muestra la Figura 13 (panel superior), en comparación con el placebo, la ingestión de cafeína aumentó la altura media del salto alcanzada durante las 10 repeticiones del test de salto Abalakov ( $37,3 \pm 6,8$  vs  $38,2 \pm 7,4$  cm;  $d=0,14$ ;  $p=0,01$ ). Específicamente, la cafeína aumentó significativamente la altura del salto en los saltos número 3, 5, 6, 9 y 10 (todos ellos con  $p < 0,05$ ). Aunque la ingesta de cafeína mejoró significativamente la octava repetición (o la 3ª repetición con balón;  $d=0,34$ ;  $p=0,02$ ), la cafeína no cambió el tiempo medio durante CODAT sin balón ( $5,96 \pm 0,29$  vs  $5,95 \pm 0,31$  s;  $d=0,39$ ;  $p=0,39$ ) o con él ( $6,20 \pm 0,29$  vs  $6,14 \pm 0,32$  s;  $d=0,21$ ;  $p=0,12$ ) como indica la Figura 13 (panel inferior).



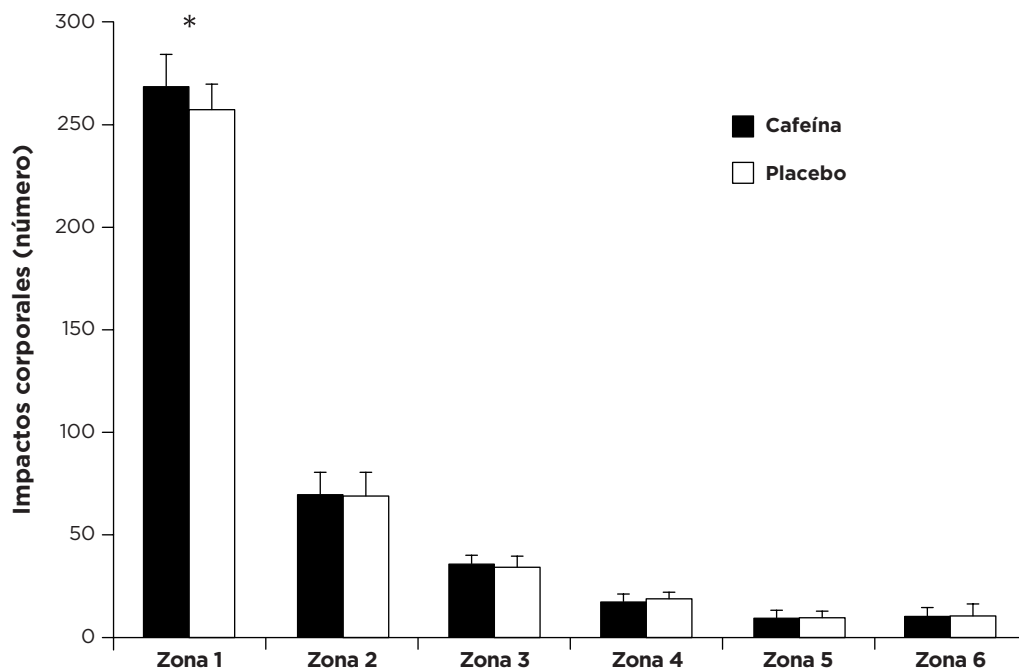


(\*) Diferente frente a placebo ( $p < 0,05$ ).

**Figura 13.** *Altura del salto (panel superior) y tiempo de carrera (panel inferior) medidos a través del salto Abakalov y CODAT (test de cambio de dirección y aceleración) respectivamente durante 10 repeticiones tras la ingestión de cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio  $\pm$  SD para 20 jugadores de baloncesto.*

El análisis del partido de baloncesto simulado mostró que el consumo de cafeína aumentó significativamente el número total de impactos por minuto de juego

( $396 \pm 43$  vs  $410 \pm 41$  impactos·min<sup>-1</sup>;  $d=0,31$ ;  $p<0,01$ ). La Figura 14 muestra la categorización de los impactos corporales según la intensidad de cada aceleración/desaceleración. La ingestión de cafeína aumentó el número de impactos en la zona 1 ( $247 \pm 26$  vs  $259 \pm 28$  impactos·min<sup>-1</sup>;  $d=0,45$ ;  $p<0,01$ ) durante el partido, pero no afectó a las zonas restantes. Por otra parte, la cafeína no afectó a la FC<sub>med</sub> ( $157 \pm 13$  vs  $161 \pm 10$  lat·min<sup>-1</sup>;  $d=0,30$ ;  $p=0,59$ ) o la FC<sub>máx</sub> ( $185 \pm 12$  vs  $188 \pm 10$  lat·min<sup>-1</sup>;  $d=0,30$ ;  $p=0,89$ ).



(\*) Diferente frente al placebo ( $p<0,05$ ).

**Figura 14. Número de impactos por minuto durante un partido de baloncesto simulado tras la ingestión de cafeína (3 mg·kg<sup>-1</sup>) o placebo. Datos presentados con promedio  $\pm$  SD para 20 jugadores de baloncesto.**

**Zona 1  $\leq 0,99$  G; Zona 2 de 1,00 a  $\leq 1,99$  G; Zona 3 de 2,00 a  $\leq 2,99$  G; Zona 4 de 3,00 a  $\leq 3,99$  G; Zona 5 de 4,00 a  $\leq 4,99$  G; Zona 6  $\geq 5,00$  G.**

Los datos de todas las estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego analizadas durante los partidos simulados se presentan en la Tabla 11. En comparación con el placebo, la ingestión pre-ejercicio de cafeína aumentó significativamente el número de tiros libres intentados ( $d=0,57$ ;  $p=0,04$ ) y convertidos ( $d=0,67$ ;  $p=0,03$ ), el número de rebotes ofensivos ( $d=1,16$ ;  $p=0,02$ ) y totales ( $d=0,64$ ;  $p=0,03$ ) y el número de asistencias ( $d=1,10$ ;  $p=0,02$ ). El PIR también mejoró significativamente con la ingestión de cafeína ( $d=0,38$ ;  $p=0,04$ ). No se encontraron diferencias significativas en el resto de variables estadísticas relacionadas con el juego ( $p>0,05$ ).

**Tabla 11. Estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego durante un partido de baloncesto simulado tras la ingestión de cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio  $\pm$  SD para 20 jugadores de baloncesto.**

Variables	Placebo	Cafeína	Tamaño del efecto	$p$
Puntos anotados	8,2 $\pm$ 6,9	8,8 $\pm$ 6,1	0,09	0,35
Lanzamientos de 2 puntos anotados	2,5 $\pm$ 2,4	2,7 $\pm$ 2,6	0,10	0,37
Lanzamientos de 2 puntos intentados	3,8 $\pm$ 3,0	4,5 $\pm$ 3,3	0,25	0,21
Precisión en lanzamientos de 2 puntos (%)	54,7 $\pm$ 30,5	50,5 $\pm$ 37,6	0,14	0,45
Lanzamientos de 3 puntos anotados	0,9 $\pm$ 1,2	0,8 $\pm$ 1,1	0,19	0,27
Lanzamientos de 3 puntos intentados	2,8 $\pm$ 2,1	2,4 $\pm$ 2,3	0,17	0,23
Precisión en lanzamientos de 3 puntos (%)	25,7 $\pm$ 30,6	23,7 $\pm$ 27,5	0,07	0,33
Tiros libres anotados	0,6 $\pm$ 0,8	1,1 $\pm$ 1,1*	0,67	0,03
Tiros libres intentados	0,9 $\pm$ 1,1	1,5 $\pm$ 1,5*	0,57	0,04
Precisión en tiros libres (%)	68,8 $\pm$ 38,3	75,7 $\pm$ 20,2	0,18	0,44
Rebotes ofensivos	0,5 $\pm$ 0,6	1,2 $\pm$ 1,6*	1,16	0,02
Rebotes defensivos	2,1 $\pm$ 1,7	2,6 $\pm$ 1,8	0,30	0,15
Rebotes totales	2,5 $\pm$ 2,0	3,7 $\pm$ 2,6*	0,64	0,03
Asistencias	1,1 $\pm$ 0,9	2,1 $\pm$ 1,6*	1,10	0,02
Robos de balón	0,9 $\pm$ 1,1	1,2 $\pm$ 1,3	0,23	0,24
Pérdidas de balón	1,7 $\pm$ 1,5	1,7 $\pm$ 1,3	0,08	0,50
Tapones cometidos	0,0 $\pm$ 0,0	0,1 $\pm$ 0,3	0,22	0,08
Tapones recibidos	0,1 $\pm$ 0,3	0,0 $\pm$ 0,0	0,32	0,08
Faltas cometidas	1,3 $\pm$ 1,0	1,0 $\pm$ 0,9	0,22	0,17
Faltas recibidas	1,0 $\pm$ 0,9	1,3 $\pm$ 1,0	0,20	0,17
<i>Performance index rating</i>	8,4 $\pm$ 8,3	11,6 $\pm$ 7,3*	0,38	0,04

(\*) Diferente frente al placebo ( $p < 0,05$ ).

En comparación con el placebo, la ingesta de cafeína aumentó significativamente la potencia muscular percibida por los jugadores durante el ensayo ( $5,3 \pm 1,4$  vs  $6,6 \pm 1,4$  A.U.;  $d=0,93$ ;  $p < 0,01$ ) con una tendencia al cambio en la percepción de resistencia ( $5,5 \pm 1,2$  vs  $6,3 \pm 1,6$  A.U.;  $d=0,61$ ;  $p=0,06$ ), mientras que el RPE permaneció invariable en los dos ensayos experimentales ( $5,3 \pm 1,6$  vs  $4,9 \pm 1,5$  A.U.;  $d=0,25$ ;

$p=0,40$ ). Durante las 24 horas posteriores al ensayo, los participantes mostraron una prevalencia significativamente mayor de insomnio tras la ingesta de cafeína (19,0 vs 54,4%;  $p=0,04$ ) mientras que los efectos secundarios restantes (nerviosismo, actividad, molestias gastrointestinales, dolor de cabeza e irritabilidad) fueron similares entre ambos ensayos experimentales ( $p>0,05$ ).

# 5.5 ESTUDIO 5

## EL POLIMORFISMO CYP1A2 -163C>A NO ALTERA LOS EFECTOS DE LA CAFEÍNA SOBRE EL RENDIMIENTO EN JUGADORES DE BALONCESTO.

### Objetivos del estudio

El objetivo de esta investigación fue analizar la influencia de las variaciones genéticas del gen CYP1A2 (-163C>A) que codifica la proteína con el mismo nombre sobre los efectos ergogénicos derivados de la ingesta de una dosis moderada de cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) en el rendimiento en jugadores y jugadoras de baloncesto con experiencia. Un segundo objetivo fue determinar la influencia de las variantes genéticas del polimorfismo -163C>A del gen CYP1A2 sobre los efectos secundarios derivados del consumo de esta sustancia.

### Materiales y métodos

#### Participantes

Diecinueve jugadores de baloncesto de élite se ofrecieron voluntariamente para participar en este estudio. La muestra fue la misma que en el Estudio 4, 10 jugadoras profesionales y 10 jugadores semi-profesionales de baloncesto. Una jugadora no dio su consentimiento para la medición de genética, con el consiguiente análisis de sangre previo, por lo que fue descartada para el análisis de los resultados. La investigación fue aprobada por el Comité de Ética de la Universidad de acuerdo con la última versión de la Declaración de Helsinki.

#### Procedimiento pre-experimental

Una semana antes de los ensayos experimentales, los participantes se sometieron a un examen físico para asegurar que estaban en buen estado de salud. Después de eso, los jugadores se pesaron desnudos ( $\pm 50 \text{ g}$ , Radwag, Polonia) para individua-

lizar las dosis de cafeína. Posteriormente, se obtuvo una muestra de sangre venosa (5 mL) de una vena antecubital y se introdujo en un tubo con EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) para evitar su coagulación y se refrigeró a 4 °C (Figura 15). Esta muestra se analizó posteriormente para determinar las variaciones genéticas del polimorfismo -163C>A (rs762551) utilizando procedimientos estándar (Algrain et al., 2015). El mismo día, las características antropométricas de los participantes fueron registradas por un antropometrista certificado por ISAK y el porcentaje de grasa corporal se calculó utilizando seis pliegues cutáneos (Marfell-Jones y Stewart, 2011). Los participantes también fueron instados por los investigadores a abstenerse de la ingesta de cafeína en cualquiera de sus formas (cola, café, bebidas energéticas, etc.) durante toda la duración de la investigación y el cumplimiento fue obtenido por registros dietéticos.



**Figura 15. Extracción de sangre utilizada para el posterior análisis del polimorfismo -163C>A del gen CYP1A2.**

## Diseño experimental

El diseño experimental de esta investigación fue caso-control. Inicialmente, los participantes se dividieron en tres grupos, establecidos de acuerdo con su perfil genético en el polimorfismo -163C>A del gen CYP1A2 (variantes AA, CA y CC). Sin embargo, los portadores de la variante alélica C (tanto heterocigotos CA como homocigotos CC) se agruparon y se consideraron como un solo grupo debido a un análisis preliminar que mostró respuestas fenotípicas muy similares en estos individuos participantes. Además, la agrupación de los portadores del alelo C ha sido utilizada en investigaciones previas debido a que estos grupos presentan una respuesta similar a la ingesta de dosis moderadas de cafeína (Algrain et al., 2015; Thomas et al., 2016; Womack et al., 2012). Debido a que no se han encontrado diferencias en cuanto al uso de la cafeína por géneros en el deporte (Duncan & Hankey 2013, Salinero et al., 2014), los jugadores y jugadoras de baloncesto fueron tratados como un solo grupo en el análisis estadístico de este estudio (Tabla 12).

**Tabla 12. Edad y características antropométricas de 19 jugadores (10 jugadores y 9 jugadoras) de baloncesto. Datos presentados con promedio  $\pm$  SD para los homocigotos AA (n=10) y los portadores del alelo C (n=9) en el polimorfismo -163C>A del gen CYP1A2.**

Variable	Hombres	Mujeres	Total
<b>Edad (años)</b>			
Homocigotos AA	26,5 $\pm$ 2,4	27,0 $\pm$ 5,3	26,7 $\pm$ 3,5
Portadores del alelo C	27,8 $\pm$ 5,6	31,0 $\pm$ 6,7	29,4 $\pm$ 6,0
<b>Estatura (cm)</b>			
Homocigotos AA	199,0 $\pm$ 7,4	172,3 $\pm$ 12,1	187,6 $\pm$ 16,7
Portadores del alelo C	186,8 $\pm$ 5,1	178,8 $\pm$ 6,1	182,8 $\pm$ 6,7
<b>Masa corporal (kg)</b>			
Homocigotos AA	93,3 $\pm$ 8,6	70,4 $\pm$ 23,4	83,5 $\pm$ 19,2
Portadores del alelo C	85,6 $\pm$ 17,7	71,1 $\pm$ 7,0	78,4 $\pm$ 14,7
<b>Masa grasa (%)</b>			
Homocigotos AA	13,3 $\pm$ 3,3	14,2 $\pm$ 5,1	13,7 $\pm$ 3,8
Portadores del alelo C	10,2 $\pm$ 2,1	16,5 $\pm$ 1,3	13,3 $\pm$ 3,7
<b>Masa muscular (%)</b>			
Homocigotos AA	50,0 $\pm$ 7,2	47,4 $\pm$ 3,0	48,5 $\pm$ 4,8
Portadores del alelo C	49,2 $\pm$ 1,5	46,7 $\pm$ 1,1	47,9 $\pm$ 1,8

## Protocolo experimental

El protocolo ha sido explicado y detallado en el Estudio 4.

## Análisis estadístico

En primer lugar, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para probar la normalidad de cada variable en cada grupo. Todas las variables mostraron una distribución normal ( $p > 0,05$ ) y se realizaron ANOVAs de dos vías (tratamiento experimental x grupo genotipo) con medidas repetidas con el fin analizar los efectos producidos por la ingesta de cafeína en los homocigotos AA frente a los portadores del alelo C. Después de una prueba F significativa, las diferencias entre las medias se identificaron usando la prueba de Bonferroni. Como en el estudio anterior, el tamaño del efecto ( $d$ ) se calculó para determinar el efecto de la cafeína en cada grupo experimental según la fórmula propuesta por Glass et al. (1984). La magnitud del tamaño del efecto se interpretó utilizando la escala de la magnitud del tamaño del efecto de Cohen (Cohen, 1988). La prueba de McNemar se utilizó para detectar diferencias en las frecuencias de los efectos secundarios descritos después de la ingestión de cada tratamiento y la prueba Chi cuadrado para observar diferencias en las variantes del gen CYP1A2 analizadas. Para los análisis se utilizó el programa estadístico SPSS 20.0 (SPSS Inc., IBM, Estados Unidos). El nivel de significación estadística se fijó en  $p < 0,05$ .

## Resultados

No hubo diferencias en cuanto a la edad o características antropométricas entre los homocigotos AA y los portadores del alelo C ( $p > 0,05$ ; Tabla 13). Como promedio de las 10 repeticiones, la cafeína aumentó la altura de salto en el test de Abalakov en  $2,9 \pm 3,6\%$  en los homocigotos AA ( $d=0,2$ ;  $p=0,02$ ), mientras que este efecto no fue significativo para los portadores de alelo C ( $2,3 \pm 6,8\%$ ;  $d=0,2$ ;  $p=0,16$ ). Sin embargo, no hubo interacción entre los genotipos para la altura de este salto. Durante las repeticiones de CODAT sin el balón, la cafeína no afectó al tiempo de sprint en los homocigotos AA ( $-0,5 \pm 4,0\%$ ;  $d=0,1$ ;  $p=0,36$ ) o los portadores de alelo C ( $0,4 \pm 4,0\%$ ;  $d=0,1$ ;  $p=0,37$ ). La cafeína tampoco afectó el tiempo de sprint en las repeticiones con el balón en CODAT, tanto en homocigotos AA ( $-1,0 \pm 4,0\%$ ;  $d=0,4$ ;  $p=0,15$ ) como en los portadores del alelo C ( $0,0 \pm 3,0\%$ ;  $d=0,0$ ;  $p=0,49$ ).

La cafeína no modificó significativamente la  $FC_{med}$  y la  $FC_{máx}$  durante el partido de baloncesto simulado ni en los homocigotos AA ni en los portadores del alelo C ( $d < 0,4$ ;  $p > 0,05$ ). Sin embargo, los homocigotos AA ( $3,0 \pm 4,8\%$ ;  $d=0,2$ ;  $p=0,05$ ) y los portadores del alelo C ( $3,3 \pm 3,2\%$ ;  $d=0,4$ ;  $p=0,01$ ) aumentaron de manera similar el número de impactos realizados durante el juego simulado tras la ingestión de cafeína. No hubo interacción entre genotipos y en el número de impactos durante el juego.



Tabla 13. Variables medidas a través de pruebas físicas durante 10 repeticiones (Altura del salto (salto Abalakov) y tiempo de carrera (CODAT)) y mediante un partido simulado de baloncesto de 20 minutos de duración (frecuencia cardíaca y número de impactos corporales) tras la ingestión de cafeína (3 mg·kg<sup>-1</sup>) o placebo. Datos presentados con promedio ± SD para los homocigotos AA (n=10) y los portadores del alelo C (n=9) en el polimorfismo -163C>A del gen CYP1A2.

Variable	Hombres	Mujeres	Δ(%)	Tamaño del efecto	p
<b>Altura del salto (cm)</b>					
Homocigotos AA	39,06 ± 7,2	40,7 ± 7,3*	+2,9 ± 3,6	0,2	0,02
Portadores del alelo C	36,3 ± 5,9	37,2 ± 9,0	+2,3 ± 6,8	0,2	0,16
<b>CODAT sin balón (s)</b>					
Homocigotos AA	5,91 ± 0,25	5,88 ± 0,27	-0,5 ± 4,0	0,1	0,36
Portadores del alelo C	5,95 ± 0,33	5,97 ± 0,38	+0,4 ± 4,0	0,1	0,37
<b>CODAT con balón (s)</b>					
Homocigotos AA	6,19 ± 0,21	6,09 ± 0,24	-1,0 ± 4,0	0,4	0,15
Portadores del alelo C	6,14 ± 0,35	6,14 ± 0,41	+0,0 ± 3,0	0,0	0,49
<b>Frecuencia cardíaca media (lat·min<sup>-1</sup>)</b>					
Homocigotos AA	158 ± 9	160 ± 10	+1,3 ± 7,5	0,3	0,72
Portadores del alelo C	161 ± 13	163 ± 9	+1,2 ± 6,4	0,1	0,82
<b>Frecuencia cardíaca máxima (lat·min<sup>-1</sup>)</b>					
Homocigotos AA	187 ± 12	188 ± 13	+0,5 ± 4,7	0,2	0,22
Portadores del alelo C	182 ± 7	185 ± 6	+1,6 ± 3,5	0,4	0,46
<b>Impactos corporales (impactos·min<sup>-1</sup>)</b>					
Homocigotos AA	385 ± 54	397 ± 49*	+3,0 ± 4,8	0,2	0,05
Portadores del alelo C	401 ± 33	415 ± 35*	+3,3 ± 3,2	0,4	0,02

CODAT=Test de cambio de dirección y aceleración.

(\*) Diferente frente a placebo ( $p < 0,05$ ).

En comparación con el placebo, los homocigotos AA aumentaron un  $26,4 \pm 11,0\%$  la potencia muscular autopercebida con cafeína ( $d=0,8$ ;  $p=0,04$ ). La potencia muscular autopercebida también aumentó en  $14,3 \pm 11,0\%$  en los portadores del alelo C, aunque el incremento sobre el placebo no alcanzó significación estadística ( $d=0,9$ ;  $p=0,16$ ). En cualquier caso, no hubo interacción entre los grupos de genotipos y la autopercepción de la potencia muscular. Los homocigotos AA tendieron a aumentar la autopercepción en la capacidad de resistencia con cafeína frente al placebo un  $19,3 \pm 5,8\%$  ( $d=0,7$ ;  $p=0,06$ ), mientras que esta variable no cambió con la ingesta de cafeína en el grupo de portadores del alelo C ( $0,0 \pm 6,0\%$ ;  $d=0,0$ ;  $p=0,50$ ). Sin embargo, no hubo interacción entre el genotipo y la autopercepción de la capacidad de resistencia. Durante las 24 horas siguientes a la prueba, los homocigotos AA tendieron a aumentar el insomnio con cafeína (Tabla 14), mientras que los portadores del alelo C no presentaron este efecto. Sin embargo, no se observaron otros efectos adversos secundarios a la ingesta de cafeína y los resultados fueron similares en homocigotos AA y portadores del alelo C ( $p>0,05$ ).

**Tabla 14. Prevalencia (%) de los efectos secundarios durante las 24 horas posteriores a la ingestión de cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) o placebo. Datos presentados con promedio  $\pm$  SD para los homocigotos AA ( $n=10$ ) y los portadores del alelo C ( $n=9$ ) en el polimorfismo  $-163C>A$  del gen CYP1A2.**

Variable	Placebo	Cafeína	$p$
<b>Nerviosismo</b>			
Homocigotos AA	10	20	1,00
Portadores del alelo C	10	0	1,00
<b>Insomnio</b>			
Homocigotos AA	20	70	0,06
Portadores del alelo C	20	30	1,00
<b>Problemas gastrointestinales</b>			
Homocigotos AA	0	20	1,00
Portadores del alelo C	0	0	1,00
<b>Actividad</b>			
Homocigotos AA	20	30	1,00
Portadores del alelo C	10	10	1,00
<b>Dolor muscular</b>			
Homocigotos AA	30	10	0,63
Portadores del alelo C	10	10	1,00
<b>Dolor de cabeza</b>			
Homocigotos AA	10	0	1,00
Portadores del alelo C	10	0	1,00



# 6 DISCUSIÓN



Desde nuestro conocimiento, el Estudio 1 es la primera investigación que ha analizado las cargas internas y externas impuestas por un partido de baloncesto de competición mediante el uso de tecnología GPS. En este estudio, y como promedio, los jugadores recorrieron  $82,6 \pm 7,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  durante el partido. Trabajos anteriores han reportado resultados muy diferentes a los obtenidos en esta investigación en relación con la distancia recorrida de los jugadores de baloncesto durante el partido ( $156$  y  $189 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ), a pesar de analizar niveles competitivos similares (Ben Abdellkrim et al., 2010a; Scanlan et al., 2011). Esta alta variación podría deberse al tipo de metodología utilizada (análisis de video) en estas investigaciones para describir los patrones de movimiento en el baloncesto. Sin embargo, varios estudios ya han analizado el patrón de actividad en deportes de equipo como el fútbol (Castagna, Manzi, Impellizzeri, Weston y Barbero Alvarez, 2010; Del Coso et al., 2012a), el fútbol australiano (Aughey, 2010), el rugby (Del Coso et al., 2013a; Del Coso et al., 2013b) y el balonmano al aire libre (Barbero et al., 2014) utilizando tecnología GPS. La distancia recorrida en estos deportes fue notablemente inferior a los datos reportados en baloncesto usando el video (fútbol:  $91,9 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ , rugby:  $79,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ , balonmano *outdoor*:  $94,0 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ), y muy similar al ritmo de carrera presentado en esta investigación. Aunque los dispositivos GPS tienen errores relativamente pequeños durante la grabación de los patrones de movimiento en los deportes de equipo, su alta frecuencia permite registrar acciones de alta velocidad y facilitar la grabación de movimientos cortos en comparación con el análisis de video. Toda esta información sugiere que los datos anteriores relacionados con las actividades de carrera de los jugadores de baloncesto pueden estar sobrestimados debido al uso del análisis de video para su evaluación, lo que hace que la información presentada por el Estudio 1 sea novedosa y relevante para entrenadores y preparadores físicos.

La naturaleza y la intensidad del juego podría ser otra clave importante para el estudio de los patrones de movimiento en baloncesto (Barbero et al., 2014). Aunque la mayoría de los estudios han analizado partidos de baloncesto con una duración de 40 minutos, el Estudio 1 consistió en partidos de 20 minutos de duración debido a las características del torneo (disputado en una pista oficial de balon-

cesto al aire libre). Sin embargo, se registró una frecuencia cardíaca media de  $169 \pm 8 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$ , un valor muy similar al reportado en otros estudios ( $171$  y  $156 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$ ) que utilizaron partidos de 40 minutos de duración (Ben Abdelkrim et al., 2007; Vaquera et al., 2008), por lo que en términos de intensidad, hablamos de datos similares en partidos de 20 minutos con respecto a investigaciones previas. Además, el uso de sensores micro-tecnológicos como los acelerómetros ha permitido también el análisis de los impactos corporales en esta investigación, que representan una evaluación inespecífica de la cantidad y magnitud de las actividades/movimientos a diferentes intensidades. En referencia a la alta intensidad mostrada en el partido, los jugadores de baloncesto marcaron  $8,2 \pm 1,8$  impactos corporales por encima de 5 G por minuto de juego, un valor más pequeño que el encontrado anteriormente en balonmano ( $13,4 \pm 4,4 \text{ impactos}\cdot\text{min}^{-1}$ ; (Barbero et al., 2014)), pero aparentemente similar a un estudio previo en rugby ( $8,0 \pm 5,9 \text{ impactos}\cdot\text{min}^{-1}$ ; (Del Coso et al., 2013b)). Esta información indica que la carga física necesaria para competir en baloncesto no tiene que ser determinada únicamente por la medición del número e intensidad de los desplazamientos. La medición de los impactos corporales también es necesaria para determinar correctamente la carga externa impuesta durante el desarrollo de un partido de baloncesto.

Por otro lado, los jugadores profesionales australianos de baloncesto pasaron el 38% del tiempo de juego andando (McInnes et al., 1995) y jugadores júnior de élite turcos gastaron el 77% del tiempo desarrollando actividades de baja intensidad durante partidos oficiales de baloncesto (Ben Abdelkrim et al., 2010a). Además de esto, otros estudios también han demostrado la alta prevalencia de actividades de baja intensidad durante la competición en este deporte (Ben Abdelkrim et al., 2007; Narazaki et al., 2009; Scanlan et al., 2012). Del mismo modo, en el presente Estudio 1, nuestros jugadores pasaron el  $44 \pm 7\%$  del tiempo de juego caminando ( $36,4 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ; Tabla 4). Asimismo, cubrieron el  $81 \pm 13\%$  de la distancia total a baja intensidad ( $> 12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) en el partido. A pesar de una gran contribución de las actividades de baja intensidad en baloncesto, el sprint y las carreras de alta intensidad se consideran factores clave en el rendimiento de un deporte de equipo (Bishop, Girard y Mendez-Villanueva, 2011; Castagna, D'Ottavio y Abt, 2003), y la capacidad para realizar sprints repetidos durante el juego podría estar relacionada con competir a un nivel más alto (Hoffman et al., 1996; McInnes et al., 1995; Stojanovic et al., 2012). En términos de desplazamientos a alta intensidad ( $> 18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) los jugadores cubrieron  $3 \pm 3\%$  de la distancia total a este ritmo durante el juego. Tales proporciones son similares a las observadas en jugadores varones de élite de baloncesto (2-6%) de diferentes categorías (Ben Abdelkrim et al., 2010a). De hecho, en el Estudio 1 los jugadores realizaron de  $0,17 \pm 0,13$  sprints por minuto (Tabla 5). Todos estos

datos indican que, a pesar de su importancia para el resultado final del partido, una proporción muy baja de movimientos se realizan a alta intensidad o esprintando. Es probable que una mayor distancia recorrida a alta intensidad en este deporte pudiese representar una ventaja significativa para el éxito en baloncesto, aunque esta especulación requiere de investigación adicional.

Por otra parte, como ya es sabido, la estatura y la masa corporal se han utilizado generalmente como factores individuales importantes para definir la posición en la pista de un jugador de baloncesto (Nikolaidis et al., 2015). Sin embargo, el presente trabajo también ofrece información para analizar las diferencias en las demandas físicas y fisiológicas necesarias para bases, aleros y pivots (Tabla 4 y Tabla 5) que ayudarán a mejorar la elección de la posición de un jugador de baloncesto sobre la pista más allá de los criterios antropométricos. Por un lado, los pivots fueron los jugadores con el menor ritmo de carrera durante el partido; de hecho, significativamente menor al ritmo de carrera de los aleros. Por el contrario y como muestra la Tabla 4 y la Figura 5, no hubo diferencias significativas en cuanto a la distancia cubierta a diferentes velocidades con el resto de jugadores. Por otro lado, los bases lograron una velocidad máxima más alta que los pivots, siendo estos últimos los que presentaron una menor cantidad de aceleraciones y desaceleraciones que bases y aleros (Tabla 5). De hecho, estas variaciones de movimiento (aceleraciones y desaceleraciones) probablemente indiquen que los pivots realizaron un menor número de cambios de dirección durante el juego que el resto de jugadores. Estos resultados pueden estar relacionados con las diferencias estadísticamente significativas en la antropometría de los jugadores (los pivots pesaron más que los bases y eran más altos que el resto de los jugadores). Sin embargo, un menor número de aceleraciones y desaceleraciones de los pivots puede reflejar la especificidad de los movimientos de este tipo de jugadores en la cancha, ya que la mayoría de sus desplazamientos son generalmente más cortos tanto en las acciones ofensivas como en las defensivas. Recientemente y apoyando estos datos, se concluyó que niveles altos de masa corporal parece ir en detrimento del rendimiento a la hora de correr y de saltar (Nikolaidis et al., 2015). Toda esta información específica respecto a las posiciones de juego de los jugadores complementa una investigación previa donde se plantea una menor agilidad en los pivots comparada con el resto de jugadores (Koklu, Alemdaroglu, Kocak, Erol y Findikoglu, 2011). Por tanto, esta investigación sugiere que los pivots son los jugadores con menores demandas físicas con diferencias mínimas entre bases y aleros.

De la misma forma que el Estudio 1 describe las demandas y cargas físicas y fisiológicas en competición en baloncesto mediante el uso de GPS y acelerómetros,

el Estudio 2 trata de identificar las estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego que mejor explican el número total de victorias durante la liga profesional de baloncesto española (ACB), evaluando así el rendimiento de este deporte desde el ámbito notacional durante la competición. En esta línea, investigaciones anteriores han analizado las estadísticas relacionadas con el juego durante el partido en los equipos ganadores y perdedores durante una temporada o un torneo de corta duración (Gómez, Lorenzo, Ortega, Sampaio y Ibáñez, 2009; Ibáñez et al., 2009; Ibáñez, Sampaio, Sáenz-López, Giménez y Janeira, 2003; Lorenzo et al., 2010; Mikolajec et al., 2013). Sin embargo, la inclusión de estadísticas acumuladas de cada equipo teniendo en cuenta un mayor número de temporadas en el análisis, podría ayudar a proporcionar una identificación más fiable y consistente de los indicadores de rendimiento durante el partido que determinan, desde este ámbito, el éxito en este deporte.

En el Estudio 2 se incluyeron 10 temporadas regulares disputadas en ACB. En cada temporada compitieron 18 equipos y fueron analizados un total de 3.060 partidos oficiales. Los datos correspondientes al análisis de correlación indican que la precisión en el lanzamiento de 2 puntos y el número de asistencias fueron las variables con una mayor asociación con el número de victorias conseguidas durante la temporada regular (Tabla 6). Es interesante señalar que estos mismos indicadores de juego se han encontrado repetidamente como variables claves para diferenciar entre equipos ganadores y perdedores en una variedad de contextos dentro del ámbito del baloncesto (Ibáñez et al., 2003; Sampaio et al., 2004). Asimismo, el número de asistencias y la precisión en el lanzamiento de 2 puntos son los mejores indicadores de juego para evaluar la eficiencia ofensiva de un equipo de baloncesto, mostrando que los mejores equipos son los que tienen mejor disciplina ofensiva (Gómez et al., 2009).

En baloncesto, la precisión en el lanzamiento es un factor relevante para ganar un partido (Malarranha et al., 2013). En particular, el lanzamiento de 2 puntos es el tiro más habitual durante el partido y una mejora en la precisión en este lanzamiento puede representar una ventaja significativa para conseguir la victoria en este deporte (García et al., 2014). La relación entre la precisión en el lanzamiento de 2 puntos y la clasificación de cada equipo al finalizar una temporada regular de baloncesto también explica por qué esta acción del juego ha sido considerada como primordial dentro del entrenamiento para mejorar el rendimiento en líneas generales de este deporte (Bogdanis, Ziagos, Anastasiadis y Maridaki, 2007). De igual manera, otras investigaciones han concluido que la precisión en tiros libres es un buen indicador de éxito en baloncesto (Csataljay et al., 2009; Kozar, Vaughn, Whitfield, Lord y Dye, 1994; Sampaio y Janeira, 2003), aunque la correlación con el número de victorias en el presente estudio fue moderada (Tabla 6).



Un mayor número de asistencias y un menor número de pérdidas de balón son buenos indicadores para determinar de alguna forma la “madurez” del equipo (leer la defensa opuesta y actuar en consecuencia, pasando el balón a un compañero) y explica el trabajo del mismo, la coordinación y la anticipación (García et al., 2013). Algunos estudios han demostrado que tener un nivel más alto de aptitud física para este deporte contribuye a una mejor toma de decisiones en el juego (Royal et al., 2006), permitiendo la regularidad en la precisión y el nivel de rendimiento en la habilidad del pase (Lyons, Al-Nakeeb y Nevill, 2006). Además, se halló una alta correlación entre el nivel de condición física de jugadoras jóvenes de baloncesto de alto nivel (rendimiento en el salto, velocidad, agilidad, potencia aeróbica y anaeróbica y capacidad para repetir sprints) con la capacidad de dar asistencias durante el partido (Fort-Vanmeerhaeghe, Montalvo, Latinjak y Unnithan, 2016).

Otras estadísticas como puntos a favor y puntos recibidos, también obtuvieron valores altos de correlación con el número de partidos ganados en temporada regular. A pesar de que la diferencia de puntos en el resultado final del partido es el único criterio para determinar qué equipo gana el partido, el número de puntos anotados y los puntos en contra presentaron correlaciones menores a 0,6, lo que indica que el marcador final del partido no es la única variable a tener en cuenta en el rendimiento de un equipo de baloncesto. Otros indicadores de juego ofensivo como la precisión en el lanzamiento de 3 puntos, el número de tapones recibidos y de mates, se correlacionaron con el número de victorias conseguidas obteniendo valores entre 0,4-0,5, mientras que las variables estadísticas enmarcadas principalmente en el ámbito defensivo del juego, tal como las recuperaciones de balón y los rebotes defensivos, obtuvieron correlaciones de 0,3 y 0,4 respectivamente. Toda esta información sugiere que los equipos de baloncesto caracterizados exclusivamente por estrategias tácticas ofensivas o defensivas no son los equipos de baloncesto más exitosos.

La Figura 6, por su parte, muestra la explicación de la varianza en el número de victorias en temporada regular en base a un análisis de regresión múltiple que incluyó las estadísticas de juego analizadas en el Estudio 2. La precisión en el lanzamiento de 2 y 3 puntos y tiros libres explicó el 26% de la varianza total, mientras que el número de rebotes (ofensivos y defensivos) explicó el 23% de la varianza total. Recuperaciones de balón, pérdidas de balón, asistencias y tapones recibidos explicaron cada uno de ellos menos del 10% de la varianza. A pesar de incluir varias estadísticas relacionadas con el desarrollo del partido en este análisis, un 24% de la varianza correspondía a variables no directamente relacionadas con las mismas. Este análisis confirma la complejidad del éxito del baloncesto, porque el ganar de-

pende de la suma de diferentes componentes como: condición física, aspectos técnico-tácticos, factores psicológicos, ambientales, etc (Wilson, Vine y Wood, 2009). Así bien, este análisis ayuda a categorizar la importancia de las acciones de juego en baloncesto, lo que es fundamental para la organización del entrenamiento y para la mejora del rendimiento.

Al analizar la clasificación de 10 temporadas en ACB encontramos que los equipos clasificados para los playoffs al finalizar la temporada regular tuvieron un valor significativamente mayor que el resto de equipos en puntos a favor, mayor precisión en el lanzamiento de 2 y 3 puntos, en los lanzamientos de 3 puntos anotados, rebotes defensivos y totales, asistencias, pérdidas de balón, tapones cometidos y recibidos y mates. Asimismo, las variables que diferenciaron a los equipos clasificados para los playoffs, los equipos clasificados de la 9ª a la 16ª posición y los dos últimos equipos clasificados, es decir, las estadísticas que determinaron la clasificación final de cada equipo fueron: los puntos recibidos, la precisión en el lanzamiento de 2 y 3 puntos y el número de asistencias (Tabla 7). Los resultados de este análisis coinciden con los del análisis de correlación y regresión múltiple (Tabla 6 y Figura 6) dado que la precisión en el lanzamiento, el número de asistencias y los puntos recibidos se encuentran entre las variables más relevantes para discriminar entre equipos con mayor éxito que el resto durante la temporada regular en ACB. A parte de las estadísticas anteriormente comentadas, varias investigaciones han determinado que el éxito de los equipos ganadores está estrechamente relacionado con los rebotes defensivos (Csataljay et al., 2009; Gómez et al., 2008; Trninić, Dizdar y Lukšić, 2002), resultados, por otra parte, similares a los hallados en este estudio. Sin embargo, en el Estudio 2 el número de rebotes ofensivos no tuvo asociación con el hecho de conseguir la victoria (Tabla 6) y no tuvo ninguna relevancia para determinar la clasificación final de un equipo al finalizar la liga regular (Figura 6). Esto podría ser debido a que una alta precisión en el lanzamiento genera pocas posibilidades de capturar rebotes defensivos (Trninić et al., 2002).

Por tanto, la precisión en el lanzamiento mostrada en este estudio sugiere a los entrenadores de baloncesto desarrollar este fundamento de manera específica durante el entrenamiento (calentamiento, parte principal o vuelta a la calma), mediante ejercicios con oposición, fatiga previa o que requieran alta intensidad, e incluso proponiendo rutinas donde se promueva realizar lanzamientos de 2 y 3 puntos a canasta mediante situaciones jugadas; todo ello, con el objetivo de simular situaciones reales de juego (partido de competición). En cuanto a las asistencias se propone que el entrenamiento en este deporte debe incluir la mejora en el pase como un aspecto fundamental del éxito, determinando esto posteriormente en un

posible aumento del número de asistencias en competición. Es por esto por lo que esta aptitud debería mejorarse desde un punto de vista técnico-táctico y físico en los entrenamientos (e.g., creación de situaciones reducidas de juego con el ataque o la defensa en desventaja (e.g., 3 x 2, 2 x 3), ejercicios de transición y contraataque, valoración de las asistencias por encima de otros apartados como el lanzamiento anotado en situaciones reales de juego). Estas dinámicas presentadas podrían ser una buena opción para el entrenamiento de esta habilidad desde un punto de vista integral. Asimismo, las variables analizadas que tienen que ver con la defensa y su relación con conseguir la victoria en este deporte (rebotes defensivos, recuperaciones de balón, tapones cometidos y principalmente los puntos recibidos) destacan la importancia del apartado defensivo en el baloncesto. Por tanto, el Estudio 2 sugiere que el equilibrio radique en la combinación del trabajo ofensivo y defensivo mediante una variedad de estrategias, ejercicios o métodos de entrenamiento.

Tras identificar los patrones físicos y fisiológicos durante un partido de baloncesto 5 x 5 (Estudio 1) y analizar las estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego para determinar cuáles de estas tienen una estrecha relación con el éxito en este deporte (Estudio 2), el objetivo que engloba los dos siguientes estudios de la presente Tesis Doctoral (Estudio 3 y Estudio 4) es determinar la efectividad de un consumo moderado de cafeína (3 mg por kg de masa corporal) sobre las capacidades condicionales, habilidades específicas y durante la competición en baloncesto. Para el Estudio 3 se decidió suministrar la cafeína en forma de una bebida energética, ya que diferentes investigaciones sugieren que, en la actualidad, los deportistas están seleccionando estas bebidas como vía para ingerir cafeína pre-ejercicio (Salinero et al., 2014). En cualquier caso, la bebida placebo contuvo los mismos ingredientes que la bebida energética “activa”, por lo que el Estudio 3 representa una investigación de cafeína al uso. En el Estudio 4 se utilizaron cápsulas como vía para el suministro de la dosis de cafeína ya que, en este caso, el estudio tuvo un objetivo más mecanístico y se pretendió evitar cualquier efecto relacionado con la co-ingestión de otras sustancias. Por tanto, ambas investigaciones comparten el objetivo común de investigar el efecto de la ingesta de una dosis moderada y aguda de cafeína frente a un placebo.

En comparación con la bebida placebo, cuando los jugadores bebieron la bebida energética con cafeína aumentaron la altura del salto en un CMJ y en un test que consistió en realizar saltos máximos durante 15 s. En este último, la potencia media de todos los saltos también fue significativamente mayor tras el consumo de cafeína en forma de bebida energética. Por el contrario, la ingestión de la bebida energética con cafeína no modificó la distancia recorrida por los jugadores en el test

del Yo-Yo de recuperación intermitente (nivel 1), ni la precisión en los test específicos de lanzamiento de 3 puntos y tiros libres. Los efectos de esta sustancia permitieron aumentar la percepción de potencia muscular y resistencia, disminuyendo el RPE en los jugadores durante las pruebas. Como efectos adversos de esta sustancia dentro de las 24 horas posteriores a la ingestión de las bebidas, los jugadores se sintieron más activos con la bebida energética con cafeína, si la comparamos con el ensayo realizado tras la ingestión de una bebida placebo. Por su parte, en el Estudio 4, los jugadores mejoraron la altura del salto mediante la ejecución del salto Abalakov, aumentaron el número de impactos corporales y mejoraron el rendimiento durante el partido de baloncesto, tal como indica el PIR, después de consumir cafeína encapsulada. Sin embargo, el rendimiento en los sprints sin o con balón en el CODAT, en los tiros libres y en la frecuencia cardíaca (durante el partido) se mantuvo invariable tras el consumo de cafeína comparado con el placebo. Estos efectos fueron acompañados por una mayor potencia muscular percibida y una tendencia a una mayor capacidad de resistencia percibida durante el desarrollo de la investigación. Existió mayor prevalencia del insomnio en las 24 horas posteriores a la realización del ensayo tras ingerir cafeína, sin evidenciar ningún otro efecto secundario negativo. Toda esta información sugiere que la cafeína, en una dosis de 3 mg por kg de masa corporal, puede ser considerada como una sustancia ergogénica eficaz para aumentar el rendimiento físico y general en baloncesto.

El salto es una acción muy característica en baloncesto ya que los jugadores la utilizan continuamente durante el tiro, rebotes o en tareas defensivas. En muchos casos, la altura alcanzada durante las acciones de salto influye en el logro de un rebote defensivo u ofensivo o el éxito de un lanzamiento (Dougherty et al., 2006). Parece que los efectos de la ingesta de cafeína en la fuerza y en la producción de potencia sobre el rendimiento del tren inferior pueden estar relacionados con la dosis de cafeína administrada. En pruebas de laboratorio, cuando se utilizó una cantidad menor a  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  se concluyó que la cafeína no ayudó a aumentar el rendimiento de la fuerza del tren inferior (Beck et al., 2006). Por el contrario, cuando se utilizó esta dosis o una cantidad mayor observamos un aumento significativo del rendimiento (Astorino et al., 2012; Del Coso, Estevez y Mora-Rodriguez, 2008; Green et al., 2007; Hudson, Green, Bishop y Richardson, 2008; Pallares et al., 2013). Un estudio investigó acerca de los efectos de esta sustancia en 5 jugadores profesionales de baloncesto con esta misma dosis, determinando que esta cantidad de cafeína no fue suficiente para la mejora del rendimiento en el salto (Tucker et al., 2013). Al margen de esta conclusión, investigaciones de diseño ecológico más recientes utilizaron también  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína, reportando asimismo resultados similares que en Estudios 3 y 4 (Figura 9 y Figura 13). Por ello, se puede concluir que

la cafeína mejora el rendimiento en el salto en ambos sexos en acciones específicas de deportes individuales como en el Brazilian Jiu-Jitsu (Diaz-Lara et al., 2016a), el bádminton (Abian et al., 2015) o la natación (Lara et al., 2015), y deportes colectivos como el voleibol (Del Coso et al., 2014; Perez-Lopez et al., 2015), rugby (Del Coso et al., 2013b), rugby 7 (Del Coso et al., 2013a) y fútbol (Del Coso et al., 2012a). Específicamente para el baloncesto, esta mejora significativa del rendimiento en el salto podría ayudar a los jugadores en tareas defensivas, en el desempeño del lanzamiento a canasta, y principalmente a incrementar el número de rebotes capturados durante un partido en competición.

Además, una de las novedades de esta Tesis Doctoral fue el análisis de la influencia de la ingesta de cafeína sobre, precisamente, la precisión en el lanzamiento a canasta. Si bien existen numerosos estudios que examinaron la influencia de la cafeína sobre las capacidades físicas relevantes para el rendimiento en deportes de equipo, como hemos mostrado en la introducción, ningún estudio ha analizado la influencia de esta sustancia en la precisión en el lanzamiento en ningún deporte colectivo, aunque esta capacidad pueda ser un factor clave para deportes como el fútbol, el balonmano o el baloncesto. Share et al. (2009) investigaron la influencia de 2 y 4 mg·kg<sup>-1</sup> en tiradores profesionales de tiro al plato (fosa doble). Descubrieron que la ingestión de cafeína no proporcionó ningún beneficio de rendimiento en la precisión durante los disparos. Gant et al. (2010) encontraron que la ingestión de cafeína (3,7 mg·kg<sup>-1</sup>) no mejoró la puntuación en un test específico de precisión del pase, aunque 6 mg·kg<sup>-1</sup> tendió a mejorar el rendimiento en esta habilidad (Foskett, Ali y Gant, 2009). Por el contrario, otros autores han sugerido que la cafeína puede afectar negativamente al rendimiento de habilidades motoras debido al aumento de nerviosismo, temblores de brazos y manos y descoordinación, especialmente en personas que no están acostumbradas a esta sustancia (Franks et al., 1975). Acorde a los resultados de esta Tesis Doctoral, la ingesta de una dosis de cafeína de 3 mg·kg<sup>-1</sup> no influyó durante pruebas específicas ni en la precisión en el tiro libre (Estudio 3 y Estudio 4) ni en lanzamiento de 3 puntos (Estudio 3; Tabla 8). Estos resultados sugieren que 3 mg de cafeína por kg de masa corporal no tuvieron ningún efecto sobre la precisión durante el desarrollo de pruebas específicas de lanzamiento en baloncesto.

Por otro lado, en el Estudio 3 se utilizó el test del Yo-Yo de recuperación intermitente (nivel 1) para evaluar los efectos de la cafeína sobre la capacidad aeróbica de los jugadores de baloncesto participantes. Este test se ha utilizado previamente para analizar esta capacidad en deportes de equipo, predominantemente en el fútbol (Castagna, Impellizzeri, Chamari, Carlomagno y Rampinini, 2006; Krusturup

et al., 2003; Thomas, Dawson y Goodman, 2006). Varios estudios han utilizado este test y/o lo han sugerido para medir la capacidad de resistencia de los jugadores de baloncesto por su especificidad (Ben Abdelkrim et al., 2010b; Castagna et al., 2008a; Krustup et al., 2003). Jugadores adolescentes de este deporte cubrieron entre 1.200 y 1.700 m durante este test (Castagna et al., 2008b; Vernillo, Silvestri y La Torre, 2012), una distancia muy similar a la cubierta en la presente investigación con el placebo ( $1.925 \pm 702$  m). Además, los jugadores aumentaron la distancia de carrera un 3,7% tras la ingestión de la bebida energética que contenía cafeína, aunque este aumento no fue estadísticamente significativo. La cantidad de 3-6 mg·kg<sup>-1</sup> de cafeína se ha demostrado como ergogénica en varias actividades de resistencia (MacIntosh y Wright, 1995; Wiles, Bird, Hopkins y Riley, 1992), y también ha aumentado la distancia de carrera durante un test similar al utilizado en este estudio (Mohr et al., 2011). Por tanto, es necesaria más información para dilucidar si la cafeína puede aumentar la capacidad de resistencia en jugadores de baloncesto.

Resultados similares se presentan en el Estudio 4 con respecto a la velocidad en el sprint sin y con balón durante el CODAT (Figura 13). Curiosamente, las investigaciones previas que han encontrado beneficios de la ingesta de cafeína (3-6 mg·kg<sup>-1</sup>) en la máxima velocidad de carrera durante un test de sprints repetidos han utilizado protocolos que incluían sprints en línea recta (Carr et al., 2008; Del Coso et al., 2012a; Glaister et al., 2008) mientras que el CODAT incluye varios cambios de dirección que implican aceleraciones y desaceleraciones continuas durante el desarrollo del sprint. Además, otras investigaciones tampoco han logrado encontrar un efecto positivo de la cafeína en otros protocolos que incluyeron sprints repetidos en jugadores de equipo (Del Coso et al., 2013a; Lara et al., 2014). Por lo tanto, hasta la fecha, tan solo se ha evaluado los efectos de este estimulante en sprints en línea recta. Por ello, se presenta imprescindible más investigaciones para estudiar la ergogenicidad de la cafeína sobre sprints más específicos que requieran mayor complejidad en su ejecución y que además se incorporen materiales propios de la modalidad deportiva a estudiar, tal y como se realizó en este estudio.

Además, en el Estudio 4 se analizó la influencia de la cafeína en el rendimiento en el juego durante un partido simulado, pues existe un vacío en cuanto a esto en la literatura científica en el ámbito del baloncesto. Como indica la Tabla 11, la cafeína aumentó el número de tiros libres anotados e intentados y las asistencias mientras que no varió la precisión en el lanzamiento de 2 y 3 puntos y tiros libres. Como ya se ha comentado en el Estudio 2, un mayor número de asistencias indica una mejor coordinación, anticipación y *timing* en el equipo, así como que el número de rebotes es un factor clave para el desempeño del baloncesto (García et al.,

2013; Lyons et al., 2006). En la presente investigación, los jugadores capturaron más rebotes ofensivos y totales después de la ingestión de cafeína durante el partido (Tabla 11). La importancia de los rebotes fue indicada en los resultados del Estudio 2, donde el número de rebotes explicó el 23% de las victorias en temporada regular en la categoría ACB (Figura 6). Este efecto podría estar relacionado con la mejora de la altura del salto obtenida con esta sustancia en esta Tesis Doctoral. Además, la cafeína aumentó significativamente el PIR (Tabla 11), una variable utilizada por las competiciones de la FIBA para medir el rendimiento general de cada uno de los jugadores y del equipo en su conjunto, en lo que respecta a las estadísticas de juego (Arrieta et al., 2016). A la luz de estos resultados, podría ser posible que la cafeína desempeñe un papel para mejorar el trabajo en equipo y el rendimiento físico contribuyendo a una mejor toma de decisiones en la pista, aunque esta hipótesis requiere más investigación. Por último, durante los 20 minutos de partido simulado de baloncesto contra un equipo del mismo nivel, la ingestión pre-ejercicio de cafeína aumentó, como en otros deportes de equipo (Del Coso et al., 2014; Perez-Lopez et al., 2015), el número de impactos totales, mientras que la frecuencia cardíaca se mantuvo invariable con respecto al placebo, sugiriendo una clara influencia de la cafeína sobre la cantidad de movimientos/desplazamientos y la intensidad de los jugadores durante el juego, sin que aumente la FC tras el consumo de cafeína durante la competición.

La Comisión Médica del Comité Olímpico Internacional incluyó la cafeína en la lista de sustancias prohibidas en 1984 para minimizar el uso de dosis altas de cafeína en el mundo del deporte. Se consideraba dopaje cuando un atleta presentaba una concentración de cafeína en la orina en post-competición de más de  $12 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ . El 1 de enero de 2004, la Agencia Mundial Antidopaje decidió eliminar esta sustancia de la lista de sustancias prohibidas debido al uso generalizado de la cafeína en el deporte. La Agencia Mundial Antidopaje (AMA) indica que una sustancia debe estar prohibida antes o durante la competición deportiva cuando cumple con cualquiera de los tres siguientes criterios: (1) tiene el potencial de mejorar el rendimiento deportivo; (2) representa un riesgo real o potencial para la salud del atleta; (3) viola el espíritu del deporte. En el Estudio 3, la concentración urinaria de cafeína después del ejercicio fue de  $1,2 \pm 0,7 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  tras la ingestión de la bebida energética que contenía cafeína (Tabla 9). Este valor es cercano a los encontrados en jugadores varones de fútbol (Del Coso et al., 2012a) y rugby (Del Coso et al., 2013b) y después de la ingestión de una cantidad similar de cafeína. De hecho se demostró en una variedad de disciplinas deportivas que la concentración en la orina en competición tras consumir cafeína estaba muy por debajo de  $12 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  (Del Coso et al., 2011). Parece que el umbral urinario previo para determinar el dopaje con cafeína no era

lo suficientemente sensible como para restringir el uso de cafeína como sustancia dopante. Si en el futuro se volviera a considerar la cafeína como una sustancia prohibida, está claro que el límite urinario para el control de esta sustancia debería ser inferior al planteado anteriormente.

El diseño experimental de los estudios 3 y 4 se estableció para determinar si los jugadores de baloncesto cumplieron con los criterios primero y segundo que establece el código mundial antidopaje de la AMA para prohibir el uso de una sustancia en el deporte, ya que la confirmación de la tercera condición es difícil de demostrar científicamente. De los resultados de estas investigaciones podemos concluir que la cafeína aumenta el rendimiento en baloncesto en líneas generales, a juzgar por las variables físicas y de juego que se han visto aumentadas tras ingerir  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína. Para determinar si la cafeína representa un riesgo para el atleta, evaluamos la prevalencia de los efectos secundarios derivados de la ingestión de esta sustancia frente a la prevalencia de estos efectos tras el consumo de una sustancia placebo. En el Estudio 3 (Tabla 10), la ingestión previa de la bebida energética con cafeína aumentó la percepción de potencia y resistencia durante el ensayo, disminuyendo el RPE. Los jugadores se sintieron más activos que de costumbre las 24 horas posteriores a la realización de las pruebas cuando consumieron cafeína. Resultados similares encontramos en el Estudio 4, donde la cafeína aumentó la percepción de potencia y la autopercepción de la capacidad de resistencia tendió a aumentar con esta sustancia. Existió mayor prevalencia del insomnio en los jugadores las horas posteriores a las pruebas. Según otras investigaciones (Del Coso et al., 2013a; Lara et al., 2014), el efecto negativo de la cafeína sobre los patrones del sueño de los participantes podría estar relacionado con el hecho de que los ensayos se llevaron a cabo por la noche, habiendo menos de 6 horas desde la ingestión de cafeína hasta la hora de acostarse. Por tanto, estos resultados dejan claro que son mínimos y marginales los efectos adversos tras consumir una cantidad moderada de cafeína ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Sin embargo, debe tenerse en cuenta la prevalencia en trastornos del sueño después de su ingesta al recomendarla para aumentar el rendimiento. Por tanto, la cafeína parece no representar un riesgo real o potencial para la salud de los deportistas, por lo que tan solo se cumpliría el primer criterio desarrollado por la AMA en el código mundial antidopaje, ya que este estimulante sirve de ayuda para aumentar el rendimiento deportivo.

Por último, aunque el beneficio del consumo de cafeína sobre el rendimiento deportivo es claro al analizar grupos de participantes, un estudio más pormenorizado en algunas investigaciones ha sugerido que no todas las personas experimentan los mismos efectos tras su consumo. Estas diferencias interindividuales pueden

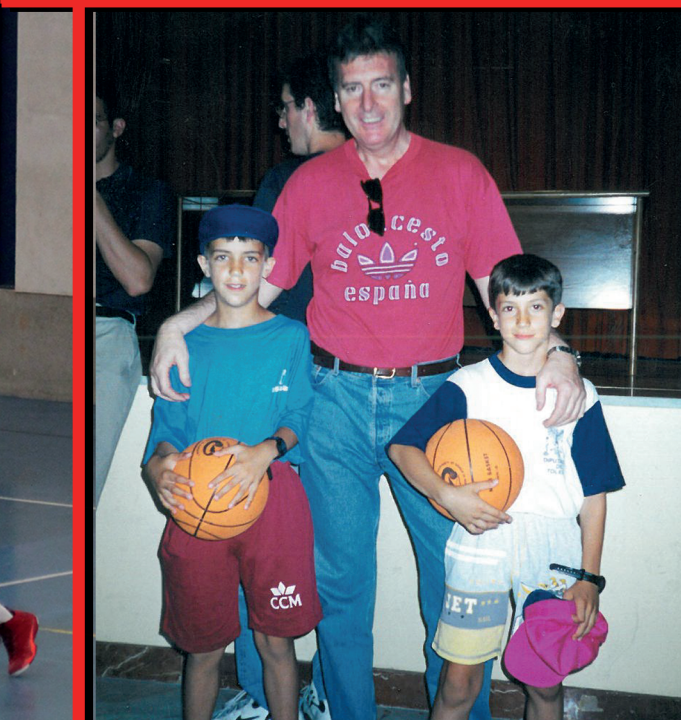


deberse a la existencia de diferentes variaciones en genes que codifican proteínas que pueden explicar los efectos ergogénicos de esta sustancia. El objetivo del Estudio 5 fue analizar la influencia de las variaciones genéticas del gen CYP1A2 sobre los efectos ergogénicos derivados de la ingesta de una dosis moderada de cafeína en el rendimiento en baloncesto. Para ello, analizamos el polimorfismo -163C>A de este gen en un grupo de 19 jugadores de baloncesto experimentados que realizaron pruebas específicas y jugaron un partido de baloncesto simulado con y sin cafeína. De acuerdo con el genotipo de los jugadores y las investigaciones anteriores que ahondaron sobre este tema (Algrain et al., 2015; Salinero et al., 2017; Thomas et al., 2016; Womack et al., 2012), se establecieron dos grupos de acuerdo a su genotipo: homocigotos AA y portadores del alelo C. Este agrupamiento se debe a la mayor actividad enzimática del CYP1A2 en los homocigotos AA que produce un metabolismo más rápido de la cafeína (Djordjevic et al., 2010) y podría conducir a una menor eficacia de esta sustancia en términos de ergogenicidad.

Los resultados del Estudio 5 reflejan que el beneficio ergogénico obtenido con la ingesta de  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína fue de magnitud similar tanto para los homocigotos AA como para los portadores del alelo C. Como muestra la Tabla 13, los homocigotos AA aumentaron significativamente la altura media del salto con la cafeína durante 10 saltos Abalakov no consecutivos. La ingesta de cafeína no aumentó significativamente esta variable en los portadores del alelo C, pero el porcentaje de cambio inducido por la ingesta de cafeína y el tamaño del efecto no fue diferente entre los homocigotos AA y los portadores del alelo C. De la misma manera, los homocigotos AA aumentaron significativamente la potencia muscular auto-percibida con cafeína. Sin embargo, el cambio en dicha variable en los portadores del alelo C en el ensayo con cafeína no fue significativo con respecto al ensayo con placebo, pero fue de la misma magnitud que el encontrado en los homocigotos AA. La cafeína también aumentó el número de impactos durante el partido simulado de baloncesto y la magnitud del cambio fue muy similar tanto para los homocigotos AA como para los portadores del alelo C (Tabla 13). Por otro lado, los inconvenientes de la ingestión de cafeína en estos jugadores fueron mínimos y similares en los grupos genotípicos estudiados, ya que la frecuencia cardíaca y la prevalencia de efectos secundarios fueron similares en los ensayos con cafeína y placebo, excepto una tendencia al aumento del insomnio en los homocigotos AA. Toda esta información sugiere que los efectos ergogénicos de la cafeína están presentes en los jugadores de baloncesto independientemente de su genotipo CYP1A2, al menos con una dosis de  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína. Por lo tanto, el polimorfismo CYP1A2 -163C>A ejerce una influencia mínima sobre los beneficios obtenidos por la ingestión de cafeína.

Algunas investigaciones previas han intentado determinar la influencia genética del polimorfismo -163C>A del gen CYP1A2 sobre los efectos ergogénicos derivados de la ingesta de cafeína en atletas o personas activas (Algrain et al., 2015; Pataky et al., 2016; Thomas et al., 2016; Womack et al., 2012). De acuerdo con estas investigaciones, es imposible obtener conclusiones acerca del papel del polimorfismo -163C>A en la ergogenicidad de la cafeína, ya que se han reportado resultados positivos (Womack et al., 2012), negativos (Pataky et al., 2016) y neutrales (Salinero et al., 2017; Thomas et al., 2006) para homocigotos AA frente a portadores del alelo C en diferentes ensayos en pruebas de laboratorio utilizando un cicloergómetro. De igual forma, nuestros datos sugieren que la cafeína fue igualmente eficaz en ambos grupos para aumentar algunos aspectos relacionados con el rendimiento de jugadores de baloncesto, lo que coincide con la falta de influencia del polimorfismo -163C> A encontrado en investigaciones anteriores. Aún así, se necesita más investigación para fundamentar esta conclusión y poderla extender a otras disciplinas deportivas.

A pesar de que no se encontró una asociación entre el genotipo CYP1A2 y la ergogenicidad obtenida a partir de la cafeína, la investigación previa es sólida en cuanto a la presencia de individuos que no responden a los efectos de la cafeína (Doherty y Smith, 2005; Meyers y Cafarelli, 2005; Skinner et al., 2010). Se especula que otros genes u otras combinaciones de genes deben ser responsables de explicar la diferencia interindividual en respuesta a la ingestión de este estimulante. Así como el efecto ergogénico de la cafeína se ha relacionado principalmente con el bloqueo de la acción "fatigante" de la adenosina en sus receptores (Davis y Green, 2009), las variaciones del gen ADORA2A podrían también ser propuestas como explicación de la ergogenicidad individual de esta sustancia, principalmente debido a que este gen produce una sensibilidad diferente a los efectos de la cafeína sobre el sueño, la ansiedad y el rendimiento cognitivo (Alsene, Deckert, Sand y De Wit, 2003; Renda et al., 2015; Retey et al., 2007). Hasta la fecha, no hay investigación que haya analizado el efecto de ADORA2A en la ergogenicidad de la cafeína, y por lo tanto, esta hipótesis sigue sin estar resuelta.



# CONCLUSIONES



De los 5 estudios que componen la Tesis Doctoral se pueden extraer las siguientes conclusiones:

## Conclusión 1

Los jugadores de baloncesto durante un partido de competición marcaron un ritmo de carrera de  $82,6 \pm 7,8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . La mayor parte de la distancia se recorrió a una intensidad de baja a moderada mientras que los jugadores cubrieron  $3 \pm 3\%$  de la distancia total a velocidades mayores de  $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , con  $0,17 \pm 0,13$  sprints por minuto y realizando aceleraciones o desaceleraciones cada  $7,1 \pm 1,7 \text{ s}$ . En cuanto a la carga interna, la  $FC_{\text{med}}$  de los jugadores fue de  $169 \pm 8 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $89,8 \pm 4,4\%$ ) durante el partido. Por su parte, los pívots recorrieron menor distancia durante el partido que los aleros y alcanzaron una velocidad máxima menor que los bases, además de desarrollar menos aceleraciones y desaceleraciones que ambos.

Por lo tanto, quedan patentes las altas demandas tanto físicas como fisiológicas necesarias para el baloncesto moderno, con especial relevancia para los desplazamientos realizados a alta intensidad, sugiriendo por ello la necesidad de un entrenamiento específico con acciones de alta intensidad para poder competir en este deporte. Por otro lado, y teniendo en cuenta que los pívots muestran menores exigencias físicas que el resto de jugadores, al menos en cuanto a desplazamientos, entrenadores y preparadores físicos de baloncesto deben ser conscientes de estas diferencias en sus jugadores y focalizar e individualizar correctamente cada rutina de entrenamiento.

## Conclusión 2

La precisión en el lanzamiento de 2 puntos y el número de asistencias son los mejores indicadores notacionales para conseguir el éxito en el baloncesto de élite español. Los puntos recibidos, la precisión en el lanzamiento de 2 y 3 puntos y el número de asistencias marcaron las diferencias entre los 8 equipos clasificados para playoffs, los equipos clasificados de la 9ª a la 16ª posición, y los equipos que descienden de categoría una vez finalizada la temporada regular.

En el baloncesto de élite, el lanzamiento de 2 y 3 puntos suele ser entrenado durante los periodos de calentamiento o recuperación con ejercicios específicos. Además, la mayoría de estas rutinas de tiro se realizan sin la oposición de un adversario o en condiciones en las que la fatiga no está presente, al contrario de como se presentan las situaciones de tiro en competición. Por esta razón, se propone que los entrenadores de baloncesto diseñen programas de entrenamiento que incluyan tareas de tiro específicas para simular situaciones de juego con el objetivo de mejorar la precisión en el lanzamiento en condiciones de competición. Paralelamente a este entrenamiento y en beneficio también de lo anteriormente comentado, quizás sea oportuno utilizar rutinas específicas de entrenamiento para mejorar las estrategias ofensivas del equipo con el objetivo de aumentar el número de asistencias en competición, ejercicios de transición y contraataque, situaciones en desventaja ofensiva o defensiva, etc. Es probable que estas estrategias, junto con un entrenamiento óptimo de la condición física y el trabajo defensivo desde el punto de vista integral con el fin de recibir menos puntos en competición, contribuyan a la mejora del rendimiento en general de los jugadores de baloncesto de élite.

### Conclusión 3

---

La ingesta aguda de 3 mg de cafeína por kg de masa corporal no modificó el rendimiento aeróbico, ni la precisión en el lanzamiento de 3 puntos y tiros libres, ni la velocidad de carrera con y sin balón, medidas obtenidas a través de diferentes pruebas específicas de este deporte. Sin embargo, esta dosis fue suficiente para que jugadores y jugadoras de baloncesto aumentaran la altura del salto. Durante un partido simulado, el número de impactos corporales, de tiros libres intentados y anotados, de rebotes ofensivos y totales y el número total de asistencias aumentó tras la ingestión de cafeína. Todas estas estadísticas llevaron a un mayor PIR con la ingesta de cafeína, que es el mejor indicador para evaluar el rendimiento en baloncesto en cuanto a estadísticas relacionadas con el desarrollo del juego se refiere. Por tanto, la cafeína actuó como una sustancia ergogénica en los jugadores de baloncesto estudiados, especialmente para aumentar el rendimiento en el salto, el número de acciones durante el partido y varias estadísticas de juego. La prevalencia de efectos adversos durante las 24 h posteriores al consumo de esta dosis de cafeína fueron menores, aunque esta sustancia debería ser recomendada para incrementar el rendimiento de una manera relativamente segura teniendo en cuenta siempre sus efectos secundarios negativos.

Los jugadores, entrenadores, preparadores físicos, cuerpo médico o nutricionistas deportivos deben tener en cuenta que una dosis moderada de cafeína (3 mg·kg<sup>-1</sup>) aumenta el rendimiento en líneas generales en jugadores de baloncesto.

No obstante, hay que considerar la frecuencia o prevalencia del insomnio tras el consumo moderado de cafeína, principalmente si este consumo es inmediatamente anterior a las horas de sueño, esto es, entrenamientos o partidos llevados a cabo durante las últimas horas de la tarde o por la noche. Al igual que otras sustancias ergogénicas, la recomendación de la cafeína en jugadores de baloncesto solo debería plantearse una vez que las mejoras a través de un adecuado entrenamiento y nutrición están maximizadas.

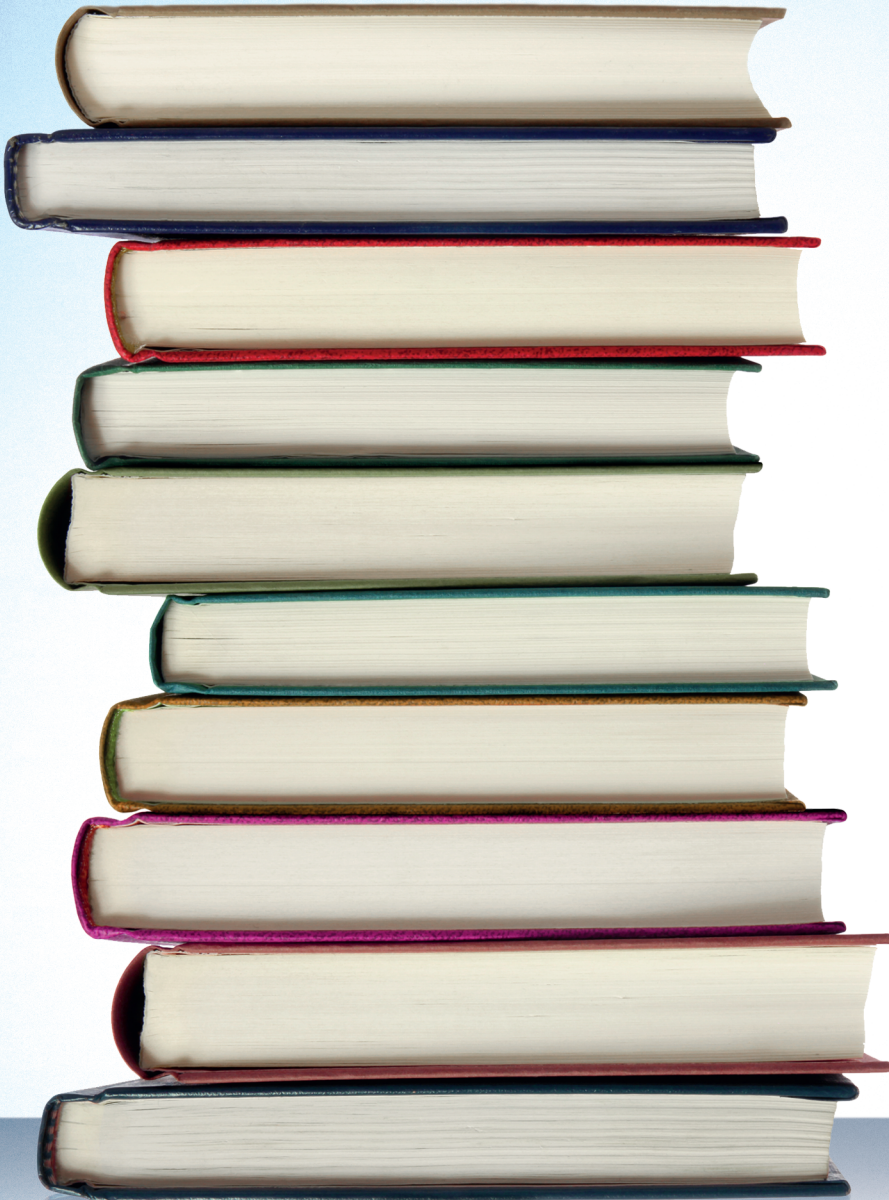
## Conclusión 4

Por último, no todas las personas experimentan efectos ergogénicos tras ingerir cafeína y esto puede deberse a las variaciones genéticas existentes en genes específicos relacionados con el metabolismo de esta sustancia. Los homocigotos AA y los portadores del alelo C en el polimorfismo -163C>A del gen CYP1A2 obtuvieron beneficios similares gracias a la ingestión de  $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cafeína durante el desarrollo de pruebas específicas y un partido de baloncesto simulado. Aunque solo los homocigotos AA mejoraron significativamente el rendimiento en el salto y reportaron mayores valores en cuanto a la percepción de potencia muscular tras un consumo de cafeína, los tamaños del efecto analizados revelan que los portadores del alelo C obtuvieron efectos ergogénicos de magnitud similar. Por lo tanto, las variaciones genéticas del gen CYP1A2 no afectaron sobre la ergogenicidad o efectos secundarios derivados del consumo de una dosis moderada de cafeína. Esto indica que las diferencias individuales que se producen tras la ingesta de cafeína no están relacionadas con el papel metabólico de la enzima CYP1A2. Es necesario realizar investigaciones en el futuro para determinar una explicación plausible sobre la variabilidad interindividual en la respuesta ergogénica derivada del consumo de cafeína.





# 8 BIBLIOGRAFÍA





- Abian, P., Del Coso, J., Salinero, J. J., Gallo-Salazar, C., Areces, F., Ruiz-Vicente, D., Lara, B., Soriano, L., Munoz, V. y Abian-Vicen, J. (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. doi: 10.1080/02640414.2014.981849
- Algrain, H., Thomas, R., Carrillo, A., Ryan, E., Kim, C., Lettan, R. y Ryan, E. (2015). The effects of a polymorphism in the cytochrome P450 CYP1A2 gene on performance enhancement with caffeine in recreational cyclists. *J Caffeine Res*, 6(1), 1-6. doi: 10.1007/s11845-016-1478-7
- Alsene, K., Deckert, J., Sand, P. y De Wit, H. (2003). Association between A2a receptor gene polymorphisms and caffeine-induced anxiety. *Neuropsychopharmacology*, 28(9), 1694. doi: 10.1038/sj.npp.1300232
- Arrieta, H., Torres-Unda, J., Gil, S. M. y Irazusta, J. (2016). Relative age effect and performance in the U16, U18 and U20 European Basketball Championships. *J Sports Sci*, 34(16), 1530-1534. doi: 10.1080/02640414.2015.1122204
- Asociación de Clubes de Baloncesto. (2014). <http://www.acb.com/stsacum.php>  
Fecha de consulta: 01/03/2014
- Astorino, T. A., Matera, A. J., Basinger, J., Evans, M., Schurman, T. y Marquez, R. (2012). Effects of red bull energy drink on repeated sprint performance in women athletes. *Amino Acids*, 42(5), 1803-1808. doi: 10.1007/s00726-011-0900-8
- Aughey, R. J. (2010). Australian football player work rate: evidence of fatigue and pacing? *Int J Sports Physiol Perform*, 5(3), 394-405.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1123/ijspp.5.3.394>
- Bara, A. I. y Barley, E. A. (2000). Caffeine for asthma. *Cochrane Database Syst Rev*(2), CD001112. doi: 10.1002/14651858.CD001112

- Barbero-Alvarez, J. C., Coutts, A., Granda, J., Barbero-Alvarez, V. y Castagna, C. (2010). The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. *J Sci Med Sport*, 13(2), 232-235. doi: 10.1016/j.jsams.2009.02.005
- Barbero, J. C., Granda-Vera, J., Calleja-González, J. y Del Coso, J. (2014). Physical and physiological demands of elite team handball players. *Int J Perf Anal Spor*, 14(3), 921-933.
- Beaumont, M., Batejat, D., Coste, O., Doireau, P., Chauffard, F., Enslin, M., Lagarde, D. y Pierard, C. (2005). Recovery after prolonged sleep deprivation: residual effects of slow-release caffeine on recovery sleep, sleepiness and cognitive functions. *Neuropsychobiology*, 51(1), 16-27. doi: 10.1159/000082851
- Beck, T. W., Housh, T. J., Schmidt, R. J., Johnson, G. O., Housh, D. J., Coburn, J. W. y Malek, M. H. (2006). The acute effects of a caffeine-containing supplement on strength, muscular endurance, and anaerobic capabilities. *J Strength Cond Res*, 20(3), 506-510. doi: 10.1519/18285.1
- Ben Abdelkrim, N., Castagna, C., Jabri, I., Battikh, T., El Fazaa, S. y El Ati, J. (2010a). Activity profile and physiological requirements of junior elite basketball players in relation to aerobic-anaerobic fitness. *J Strength Cond Res*, 24(9), 2330-2342. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e381c1
- Ben Abdelkrim, N., Chaouachi, A., Chamari, K., Chtara, M. y Castagna, C. (2010b). Positional role and competitive-level differences in elite-level men's basketball players. *J Strength Cond Res*, 24(5), 1346-1355. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181cf7510
- Ben Abdelkrim, N., El Fazaa, S. y El Ati, J. (2007). Time-motion analysis and physiological data of elite under-19-year-old basketball players during competition. *Br J Sports Med*, 41(2), 69-75; discussion 75. doi: 10.1136/bjism.2006.032318
- Bishop, D., Girard, O. y Mendez-Villanueva, A. (2011). Repeated-sprint ability - part II: recommendations for training. *Sports Med*, 41(9), 741-756. doi: 10.2165/11590560-000000000-00000

- Bishop, D. y Wright, C. (2006). A time-motion analysis of professional basketball to determine the relationship between three activity profiles: high, medium and low intensity and the length of the time spent on court. *Int J Perf Anal Spor*, 6(1), 130-139.
- Bogdanis, G. C., Ziafos, V., Anastasiadis, M. y Maridaki, M. (2007). Effects of two different short-term training programs on the physical and technical abilities of adolescent basketball players. *J Sci Med Sport*, 10(2), 79-88. doi: 10.1016/j.jsams.2006.05.007
- Bottoms, L., Greenhalgh, A. y Gregory, K. (2013). The effect of caffeine ingestion on skill maintenance and fatigue in epee fencers. *J Sports Sci*, 31(10), 1091-1099. doi: 10.1080/02640414.2013.764466
- Brunye, T. T., Mahoney, C. R., Lieberman, H. R. y Taylor, H. A. (2010). Caffeine modulates attention network function. *Brain Cogn*, 72(2), 181-188. doi: 10.1016/j.bandc.2009.07.013
- Burke, L. M. (2008). Caffeine and sports performance. *Appl Physiol Nutr Metab*, 33(6), 1319-1334. doi: 10.1139/H08-130
- Butt, M. S. y Sultan, M. T. (2011). Coffee and its consumption: benefits and risks. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 51(4), 363-373. doi: 10.1080/10408390903586412
- Butts, N. K. y Crowell, D. (1985). Effect of caffeine ingestion on cardiorespiratory endurance in men and women. *Res Q Exerc Sport*, 56(4), 301-305. doi: 10.1080/02701367.1985.10605333
- Carr, A., Dawson, B., Schneiker, K., Goodman, C. y Lay, B. (2008). Effect of caffeine supplementation on repeated sprint running performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 48(4), 472-478.
- Carrillo, J. A. y Benitez, J. (2000). Clinically significant pharmacokinetic interactions between dietary caffeine and medications. *Clin pharmacokinet*, 39(2), 127-153. doi: 10.2165/00003088-200039020-00004
- Castagna, C., Abt, G., Manzi, V., Annino, G., Padua, E. y D'Ottavio, S. (2008a). Effect of recovery mode on repeated sprint ability in young basketball players. *J Strength Cond Res*, 22(3), 923-929. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816a4281

- Castagna, C., D'Ottavio, S. y Abt, G. (2003). Activity profile of young soccer players during actual match play. *J Strength Cond Res*, 17(4), 775-780. doi: 10.1519/1533-4287(2003)017<0775:APOYSP>2.0.CO;2
- Castagna, C., D'Ottavio, S., Granda Vera, J. y Barbero Alvarez, J. C. (2009). Match demands of professional Futsal: a case study. *J Sci Med Sport*, 12(4), 490-494. doi: 10.1016/j.jsams.2008.02.001
- Castagna, C., Impellizzeri, F. M., Chamari, K., Carlomagno, D. y Rampinini, E. (2006). Aerobic fitness and yo-yo continuous and intermittent tests performances in soccer players: a correlation study. *J Strength Cond Res*, 20(2), 320-325. doi: 10.1519/R-18065.1
- Castagna, C., Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., D'Ottavio, S. y Manzi, V. (2008b). The Yo-Yo intermittent recovery test in basketball players. *J Sci Med Sport*, 11(2), 202-208. doi: 10.1016/j.jsams.2007.02.013
- Castagna, C., Manzi, V., Impellizzeri, F., Weston, M. y Barbero Alvarez, J. C. (2010). Relationship between endurance field tests and match performance in young soccer players. *J Strength Cond Res*, 24(12), 3227-3233. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e72709
- Clauson, K. A., Shields, K. M., McQueen, C. E. y Persad, N. (2008). Safety issues associated with commercially available energy drinks. *J Am Pharm Assoc (2003)*, 48(3), e55-63; quiz e64-57. doi: 10.1331/JAPhA.2008.07055
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioural sciences* Hillside.
- Cormack, S. J., Newton, R. U., McGuigan, M. R. y Doyle, T. L. (2008). Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *Int J Sports Physiol Perform*, 3(2), 131-144. doi: 10.1123/ijsp.3.2.131
- Cormery, B., Marcil, M. y Bouvard, M. (2008). Rule change incidence on physiological characteristics of elite basketball players: a 10-year-period investigation. *Br J Sports Med*, 42(1), 25-30. doi: 10.1136/bjism.2006.033316
- Costill, D. L., Dalsky, G. P. y Fink, W. J. (1978). Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. *Med Sci Sports*, 10(3), 155-158.

- Coutts, A. J. y Duffield, R. (2010). Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *J Sci Med Sport*, 13(1), 133-135. doi: 10.1016/j.jsams.2008.09.015
- Csataljay, G., O'Donoghue, P., Hughes, M. y Dancs, H. (2009). Performance indicators that distinguish winning and losing teams in basketball. *Int J Perf Anal Spor*, 9(1), 60-66.
- Cheng, C. F., Hsu, W. C., Kuo, Y. H., Shih, M. T. y Lee, C. L. (2016). Caffeine ingestion improves power output decrement during 3-min all-out exercise. *Eur J Appl Physiol*, 116(9), 1693-1702. doi: 10.1007/s00421-016-3423-x
- Cheng, W. S., Murphy, T. L., Smith, M. T., Cooksley, W. G. y Halliday, 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. doi: 10.1038/clpt.1990.66
- Davis, J. K. y Green, J. M. (2009). Caffeine and anaerobic performance: ergogenic value and mechanisms of action. *Sports Med*, 39(10), 813-832. doi: 10.2165/11317770-000000000-00000
- Davis, J. M., Zhao, Z., Stock, H. S., Mehl, K. A., Buggy, J. y 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. doi: 10.1152/ajpregu.00386.2002
- Del Coso, J., Estevez, E. y Mora-Rodriguez, R. (2008). Caffeine effects on short-term performance during prolonged exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc*, 40(4), 744-751. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181621336
- Del Coso, J., Muñoz-Fernandez, V. E., Muñoz, G., Fernandez-Elias, V. E., Ortega, J. F., Hamouti, N., Barbero, J. C. y Munoz-Guerra, J. (2012a). Effects of a caffeine-containing energy drink on simulated soccer performance. *PLoS One*, 7(2). doi: 10.1371/journal.pone.0031380
- Del Coso, J., Muñoz, G. y Muñoz-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. doi: 10.1139/h11-052

- Del Coso, J., Perez-Lopez, A., Abian-Vicen, J., Salinero, J. J., Lara, B. y 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. doi: 10.1123/ijssp.2013-0448
- Del Coso, J., Portillo, J., Munoz, G., Abian-Vicen, J., Gonzalez-Millan, C. y Munoz-Guerra, J. (2013a). Caffeine-containing energy drink improves sprint performance during an international rugby sevens competition. *Amino Acids*, 44(6), 1511-1519. doi: 10.1007/s00726-013-1473-5
- Del Coso, J., Portillo, J., Salinero, J. J., Lara, B., Abian-Vicen, J. y Areces, F. (2016). Caffeinated Energy Drinks Improve High-Speed Running in Elite Field Hockey Players. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 26(1), 26-32. doi: 10.1123/ijsnem.2015-0128
- Del Coso, J., Ramirez, J. A., Munoz, G., Portillo, J., Gonzalez-Millan, C., Munoz, V., Barbero-Alvarez, J. C. y Munoz-Guerra, J. (2013b). Caffeine-containing energy drink improves physical performance of elite rugby players during a simulated match. *Appl Physiol Nutr Metab*, 38(4), 368-374. doi: 10.1139/apnm-2012-0339
- Del Coso, J., Salinero, J. J., Gonzalez-Millan, C., Abian-Vicen, J. y 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. doi: 10.1186/1550-2783-9-21
- Delextrat, A., Calleja-Gonzalez, J., Hippocrate, A. y Clarke, N. D. (2013). Effects of sports massage and intermittent cold-water immersion on recovery from matches by basketball players. *J Sports Sci*, 31(1), 11-19. doi: 10.1080/02640414.2012.719241
- Diaz-Lara, F. J., Del Coso, J., Garcia, J. M., Portillo, L. J., Areces, F. y Abian-Vicen, J. (2016a). Caffeine improves muscular performance in elite Brazilian Jiu-jitsu athletes. *Eur J Sport Sci*, 16(8), 1079-1086. doi: 10.1080/17461391.2016.1143036
- Diaz-Lara, F. J., Del Coso, J., Portillo, J., Areces, F., Garcia, J. M. y Abian-Vicen, J. (2016b). Enhancement of High-Intensity Actions and Physical Performance During a Simulated Brazilian Jiu-Jitsu Competition With a Moderate Dose of Caffeine. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(7), 861-867. doi: 10.1123/ijssp.2015-0686



- Djordjevic, N., Ghotbi, R., Jankovic, S. y Aklillu, E. (2010). Induction of CYP1A2 by heavy coffee consumption is associated with the CYP1A2 -163C>A polymorphism. *Eur J Clin Pharmacol*, 66(7), 697-703. doi: 10.1007/s00228-010-0823-4
- Doherty, M. y 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. doi: 10.1111/j.1600-0838.2005.00445.x
- Dorado, C., Sanchis-Moysi, J. y Calbet, J. A. (2004). Effects of recovery mode on performance, O<sub>2</sub> uptake, and O<sub>2</sub> deficit during high-intensity intermittent exercise. *Can J Appl Physiol*, 29(3), 227-244. doi: 10.1139/h04-016
- Dougherty, K. A., Baker, L. B., Chow, M. y Kenney, W. L. (2006). Two percent dehydration impairs and six percent carbohydrate drink improves boys basketball skills. *Med Sci Sports Exerc*, 38(9), 1650-1658. doi: 10.1249/01.mss.0000227640.60736.8e
- Doyle, T. P., Lutz, R. S., Pellegrino, J. K., Sanders, D. J. y Arent, S. M. (2016). The Effects of Caffeine on Arousal, Response Time, Accuracy, and Performance in Division I Collegiate Fencers. *J Strength Cond Res*, 30(11), 3228-3235. doi: 10.1519/JSC.0000000000001602
- Drinkwater, E. J., Pyne, D. B. y McKenna, M. J. (2008). Design and interpretation of anthropometric and fitness testing of basketball players. *Sports Med*, 38(7), 565-578. doi: 10.2165/00007256-200838070-00004
- Duncan, M. J. y Hankey, J. (2013). The effect of a caffeinated energy drink on various psychological measures during submaximal cycling. *Physiol Behav*, 116, 60-65. doi: 10.1016/j.physbeh.2013.03.020
- Duncan, M. J. y 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. doi: 10.1519/JSC.0b013e318201bddd
- Duncan, M. J. y 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. y 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. doi: 10.1519/JSC.0b013e318241e124

- Duncan, M. J., Stanley, M., Parkhouse, N., Cook, K. y 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. doi: 10.1080/17461391.2011.635811
- European Food Safety Authority. (2015). Scientific Opinion on the safety of caffeine. *EFSA Journal*, 13(5), 4102-4120. doi:10.2903/j.efsa.2015.4102
- Falk, B., Burstein, R., Rosenblum, J., Shapiro, Y., Zylber-Katz, E. y Bashan, N. (1990). Effects of caffeine ingestion on body fluid balance and thermoregulation during exercise. *Can J Physiol Pharmacol*, 68(7), 889-892. doi: 10.1139/y90-135
- Fernandes-da-Silva, J., Castagna, C., Teixeira, A. S., Carminatti, L. J. y Guglielmo, L. G. (2016). The peak velocity derived from the Carminatti Test is related to physical match performance in young soccer players. *J Sports Sci*, 34(24), 2238-2245. doi: 10.1080/02640414.2016.1209307
- Fort-Vanmeerhaeghe, A., Montalvo, A., Latinjak, A. y Unnithan, V. (2016). Physical characteristics of elite adolescent female basketball players and their relationship to match performance. *J Hum Kinet*, 53, 167-178. doi: 10.1515/hukin-2016-0020
- Foskett, A., Ali, A. y Gant, N. (2009). Caffeine enhances cognitive function and skill performance during simulated soccer activity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 19(4), 410-423. doi: 10.1123/ijsnem.19.4.410
- Franks, H. M., Hagedorn, H., Hensley, V. R., Hensley, W. J. y Starmer, G. A. (1975). The effect of caffeine on human performance, alone and in combination with ethanol. *Psychopharmacologia*, 45(2), 177-181. doi: 10.1007/BF00429058
- Gallo-Salazar, C., Areces, F., Abian-Vicen, J., Lara, B., Salinero, J. J., Gonzalez-Millan, C., Portillo, J., Munoz, V., Juarez, D. y Del Coso, J. (2015). Enhancing physical performance in elite junior tennis players with a caffeinated energy drink. *Int J Sports Physiol Perform*, 10(3), 305-310. doi: 10.1123/ijsp.2014-0103
- Gant, N., Ali, A. y Foskett, A. (2010). The influence of caffeine and carbohydrate coingestion on simulated soccer performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 20(3), 191-197. doi: 10.1123/ijsnem.20.3.191

- García, J., Ibáñez, S. J., Gómez, M. A. y Sampaio, J. (2014). Basketball Game-related statistics discriminating ACB league teams according to game location, game outcome and final score differences. *Int J Perf Anal Spor*, 14(2), 443-452.
- García, J., Ibáñez, S. J., Martínez De Santos, R., Leite, N. y Sampaio, J. (2013). Identifying basketball performance indicators in regular season and playoff games. *J Hum Kinet*, 36(1), 161-168. doi: 10.2478/hukin-2013-0016
- Ghotbi, R., Christensen, M., Roh, H. K., Ingelman-Sundberg, M., Aklillu, E. y Bertilsson, L. (2007). Comparisons of CYP1A2 genetic polymorphisms, enzyme activity and the genotype-phenotype relationship in Swedes and Koreans. *Eur J Clin Pharmacol*, 63(6), 537-546. doi: 10.1007/s00228-007-0288-2
- Glaister, M., Howatson, G., Abraham, C. S., Lockey, R. A., Goodwin, J. E., Foley, P. y McInnes, G. (2008). Caffeine supplementation and multiple sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc*, 40(10), 1835-1840. doi: 10.1249/MSS.0b013e31817a8ad2
- Glass, G. V., MacGaw, B. y Smith, M. L. (1984). *Meta-analysis in social research*: Sage Beverly Hills, CA.
- Gomez, M. A., Battaglia, O., Lorenzo, A., Lorenzo, J., Jimenez, S. y Sampaio, J. (2015). Effectiveness during ball screens in elite basketball games. *J Sports Sci*, 33(17), 1844-1852. doi: 10.1080/02640414.2015.1014829
- Gómez, M. A., Lorenzo, A., Ortega, E., Sampaio, J. y Ibáñez, S. J. (2009). Game related statistics discriminating between starters and nonstarters players in Women's National Basketball Association League (WNBA). *J sport Sci Med*, 8(2), 278-283.
- Gómez, M. A., Lorenzo, A., Sampaio, J., Ibáñez, S. y Ortega, E. (2008). Game-related statistics that discriminated winning and losing teams from the Spanish men's professional basketball teams. *Coll Antropol*, 32(2), 451-456.
- Gómez, M. A., Tsamourtzis, E. y Lorenzo, A. (2006). Defensive systems in basketball ball possessions. *Int J Perf Anal Spor*, 6(1), 98-107. doi: 10.1080/24748668.2006.11868358

- Green, J. M., Wickwire, P. J., McLester, J. R., Gendle, S., Hudson, G., Pritchett, R. C. y Laurent, C. M. (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. doi: 10.1123/ijsp.2.3.250
- Hoffman, J. R. (2010). Caffeine and energy drinks. *Strength Cond J*, 32(1), 15-20. doi: 10.1519/SSC.0b013e3181bdafa0
- Hoffman, J. R., Tenenbaum, G., Maresh, C. M. y Kraemer, W. J. (1996). Relationship between athletic performance tests and playing time in elite college basketball Players. *J Strength Cond Res*, 10(2), 67-71. doi: 10.1519/1533-4287(1996)010<0067:RBAPTA>2.3.CO;2
- Hogervorst, E., Bandelow, S., Schmitt, J., Jentjens, R., Oliveira, M., Allgrove, J., Carter, T. y Gleeson, M. (2008). Caffeine improves physical and cognitive performance during exhaustive exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 40(10), 1841-1851. doi: 10.1249/MSS.0b013e31817bb8b7
- Hudson, G. M., Green, J. M., Bishop, P. A. y Richardson, M. T. (2008). Effects of caffeine and aspirin on light resistance training performance, perceived exertion, and pain perception. *J Strength Cond Res*, 22(6), 1950-1957. doi: 10.1519/JSC.0b013e31818219cb
- Hughes, M. y Franks, I. M. (2004). *Notational analysis of sport: Systems for better coaching and performance in sport*: Psychology Press.
- Hulka, K., Cuberek, R. y Svoboda, Z. (2014). Time-motion analysis of basketball players: a reliability assessment of Video Manual Motion Tracker 1.0 software. *J Sports Sci*, 32(1), 53-59. doi: 10.1080/02640414.2013.805237
- Ibáñez, S. J., García, J., Feu, S., Lorenzo, A. y Sampaio, J. (2009). Effects of consecutive basketball games on the game-related statistics that discriminate winner and losing teams. *J Sport Sci Med*, 8(3), 458-462.
- Ibáñez, S. J., Sampaio, J., Sáenz-López, P., Giménez, J. y Janeira, M. A. (2003). Game statistics discriminating the final outcome of junior world basketball championship matches (Portugal 1999). *J Hum Movement Stud*, 45(1), 1-20. International Basketball Federation. (2016). [www.fiba.com/es](http://www.fiba.com/es) Fecha de consulta: 04/04/2016

- Jang, G. R., Harris, R. Z. y Lau, D. T. (2001). Pharmacokinetics and its role in small molecule drug discovery research. *Med Res Rev*, 21(5), 382-396. doi: 10.1002/med.1015
- Kamimori, G. H., Karyekar, C. S., Otterstetter, R., Cox, D. S., Balkin, T. J., Belenky, G. L. y Eddington, N. D. (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), 159-167. doi: 10.1016/S0378-5173(01)00958-9
- Karapetian, G. K., Engels, H. J., Gretebeck, K. A. y Gretebeck, R. J. (2012). Effect of caffeine on LT, VT and HRVT. *Int J Sports Med*, 33(7), 507-513. doi: 10.1055/s-0032-1301904
- Klusemann, M. J., Pyne, D. B., Foster, C. y Drinkwater, E. J. (2012). Optimising technical skills and physical loading in small-sided basketball games. *J Sports Sci*, 30(14), 1463-1471. doi: 10.1080/02640414.2012.712714
- Koklu, Y., Alemdaroglu, U., Kocak, F. U., Erol, A. E. y Findikoglu, G. (2011). Comparison of chosen physical fitness characteristics of Turkish professional basketball players by division and playing position. *J Hum Kinet*, 30, 99-106. doi: 10.2478/v10078-011-0077-y
- Kopec, B. J., Dawson, B. T., Buck, C. y Wallman, K. E. (2016). Effects of sodium phosphate and caffeine ingestion on repeated-sprint ability in male athletes. *J Sci Med Sport*, 19(3), 272-276. doi: 10.1016/j.jsams.2015.04.001
- Kozar, B., Vaughn, R. E., Whitfield, K. E., Lord, R. H. y Dye, B. (1994). Importance of free-throws at various stages of basketball games. *Percept Mot Skills*, 78(1), 243-248.
- Krustrup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., Pedersen, P. K. y Bangsbo, J. (2003). The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Med Sci Sports Exerc*, 35(4), 697-705. doi: 10.1249/01.MSS.0000058441.94520.32
- Lane, S. C., Areta, J. L., Bird, S. R., Coffey, V. G., Burke, L. M., Desbrow, B., Karagounis, L. G. y Hawley, J. A. (2013). Caffeine ingestion and cycling power output in a low or normal muscle glycogen state. *Med Sci Sports Exerc*, 45(8), 1577-1584. doi: 10.1249/MSS.0b013e31828af183

- Lara, B., Gonzalez-Millan, C., Salinero, J. J., Abian-Vicen, J., Areces, F., Barbero-Alvarez, J. C., Munoz, V., Portillo, L. J., Gonzalez-Rave, J. M. y Del Coso, J. (2014). Caffeine-containing energy drink improves physical performance in female soccer players. *Amino Acids*, 46(5), 1385-1392. doi: 10.1007/s00726-014-1709-z
- Lara, B., Ruiz-Vicente, D., Areces, F., Abian-Vicen, J., Salinero, J. J., Gonzalez-Millan, C., Gallo-Salazar, C. y Del Coso, J. (2015). Acute consumption of a caffeinated energy drink enhances aspects of performance in sprint swimmers. *Br J Nutr*, 114(6), 908-914. doi: 10.1017/S0007114515002573
- Leite, N., Baker, J. y Sampaio, J. (2009). Paths to expertise in portuguese national team athletes. *J Sports Sci Med*, 8(4), 560-566.
- Lockie, R. G., Schultz, A. B., Callaghan, S. J., Jeffriess, M. D. y Berry, S. P. (2013). Reliability and Validity of a New Test of Change-of-Direction Speed for Field-Based Sports: the Change-of-Direction and Acceleration Test (CODAT). *J Sports Sci Med*, 12(1), 88-96.
- Lorenzo, A., Gómez, M. A., Ortega, E., Ibáñez, S. J. y Sampaio, J. (2010). Game related statistics which discriminate between winning and losing under-16 male basketball games. *J Sport Sci Med*, 9(4), 664-668.
- Lovallo, W. R., Wilson, M. F., Vincent, A. S., Sung, B. H., McKey, B. S. y Whitsett, T. L. (2004). Blood pressure response to caffeine shows incomplete tolerance after short-term regular consumption. *Hypertension*, 43(4), 760-765. doi: 10.1161/01.HYP.0000120965.63962.93
- Lozano, R. P., García, Y. A., Tafalla, D. B. y Albaladejo, M. F. (2007). Cafeína: un nutriente, un fármaco, o una droga de abuso. *Adicciones*, 19(3), 225-238.
- Lyons, M., Al-Nakeeb, Y. y Nevill, A. (2006). The impact of moderate and high intensity total body fatigue on passing accuracy in expert and novice basketball players. *J Sports Sci Med*, 5(2), 215-227.
- MacIntosh, B. R. y Wright, B. M. (1995). Caffeine ingestion and performance of a 1,500-metre swim. *Can J Appl Physiol*, 20(2), 168-177. doi: 10.1139/h95-012
- Magkos, F. y Kavouras, S. A. (2005). Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and cellular mechanisms of action. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 45(7-8), 535-562. doi: 10.1080/1040-830491379245

- Malarranha, J., Figueira, B., Leite, N. y Sampaio, J. (2013). Dynamic Modeling of Performance in Basketball. *Int J Perf Anal Spor*, 13(2), 377-387.
- Marfell-Jones, M. y Stewart, A. (2011). *International standards for anthropometric assessment*. New Zealand: International Society for the Advancement of Kinanthropometry.
- Marks, V. y Kelly, J. F. (1973). Absorption of caffeine from tea, coffee, and coca cola. *Lancet*, 1(7807), 827. doi: 10.1016/S0140-6736(73)90625-9
- McInnes, S. E., Carlson, J. S., Jones, C. J. y McKenna, M. J. (1995). The physiological load imposed on basketball players during competition. *J Sports Sci*, 13(5), 387-397. doi: 10.1080/02640419508732254
- Meyers, B. M. y Cafarelli, E. (2005). Caffeine increases time to fatigue by maintaining force and not by altering firing rates during submaximal isometric contractions. *J Appl Physiol*, 99(3), 1056-1063. doi: 10.1152/jappphysiol.00937.2004
- Mikolajec, K., Maszczyk, A. y Zajac, T. (2013). Game Indicators Determining Sports Performance in the NBA. *J Hum Kinet*, 37, 145-151. doi: 10.2478/hukin-2013-0035
- Mohr, M., Nielsen, J. J. y Bangsbo, J. (2011). Caffeine intake improves intense intermittent exercise performance and reduces muscle interstitial potassium accumulation. *J Appl Physiol (1985)*, 111(5), 1372-1379. doi: 10.1152/jappphysiol.01028.2010
- Moro, M. A., Lizasoain, I. y 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., Silverman, K. y Griffiths, R. R. (1996). Absorption rate of methylxanthines following capsules, cola and chocolate. *Eur J Clin Pharmacol*, 51(3-4), 319-325. doi: 10.1007/s002280050205
- Narazaki, K., Berg, K., Stergiou, N. y Chen, B. (2009). Physiological demands of competitive basketball. *Scand J Med Sci Sports*, 19(3), 425-432. doi: 10.1111/j.1600-0838.2008.00789.x

- Nikolaidis, P. T., Asadi, A., Santos, E. J., Calleja-Gonzalez, J., Padulo, J., Chtourou, H. y Zemkova, E. (2015). Relationship of body mass status with running and jumping performances in young basketball players. *Muscles Ligaments Tendons J*, 5(3), 187-194. doi: 10.11138/mltj/2015.5.3.187
- Oliver, D. (2004). *Basketball on paper: rules and tools for performance analysis*: Potomac Books, Inc.
- Olson, C. A., Thornton, J. A., Adam, G. E. y Lieberman, H. R. (2010). Effects of 2 adenosine antagonists, quercetin and caffeine, on vigilance and mood. *J Clin Psychopharmacol*, 30(5), 573-578. doi: 10.1097/JCP.0b013e3181ee0f79
- Ortega, E., Villarejo, D. y Palao, J. M. (2009). Differences in game statistics between winning and losing rugby teams in the Six Nations Tournament. *J sport Sci Med*, 8(4), 523-527.
- Osgnach, C., Poser, S., Bernardini, R., Rinaldo, R. y di Prampero, P. E. (2010). Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach. *Med Sci Sports Exerc*, 42(1), 170-178. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181ae5cfd
- Pallares, J. G., Fernandez-Elias, V. E., Ortega, J. F., Munoz, G., Munoz-Guerra, J. y Mora-Rodriguez, R. (2013). Neuromuscular responses to incremental caffeine doses: performance and side effects. *Med Sci Sports Exerc*, 45(11), 2184-2192. doi: 10.1249/MSS.0b013e31829a6672
- Pataky, M. W., Womack, C. J., Saunders, M. J., Goffe, J. L., D'Lugos, A. C., El-Sohemy, A. y Luden, N. D. (2016). Caffeine and 3-km cycling performance: Effects of mouth rinsing, genotype, and time of day. *Scand J Med Sci Sports*, 26(6), 613-619. doi: 10.1111/sms.12501
- Paton, C. D., Hopkins, W. G. y Vollebregt, L. (2001). Little effect of caffeine ingestion on repeated sprints in team-sport athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 33(5), 822-825. doi: 10.1097/00005768-200105000-00023
- Perera, V., Gross, A. S. y McLachlan, A. J. (2012). Measurement of CYP1A2 activity: a focus on caffeine as a probe. *Curr Drug Metab*, 13(5), 667-678. doi: 10.2174/1389200211209050667
- Perez-Lopez, A., Salinero, J. J., Abian-Vicen, J., Valades, D., Lara, B., Hernandez, C., Areces, F., Gonzalez, C. y Del Coso, J. (2015). Caffeinated energy drinks improve volleyball performance in elite female players. *Med Sci Sports Exerc*, 47(4), 850-856. doi: 10.1249/MSS.0000000000000455



- Portillo, J., Del Coso, J. y Abian-Vicen, J. (2016). Effects of caffeine ingestion on skill performance during an international female rugby sevens competition. *J Strength Cond Res*. doi: 10.1519/JSC.0000000000001763
- Renda, G., Committeri, G., Zimarino, M., Di Nicola, M., Tatasciore, A., Ruggieri, B., Ambrosini, E., Viola, V., Antonucci, I., Stuppia, L. y De Caterina, R. (2015). Genetic determinants of cognitive responses to caffeine drinking identified from a double-blind, randomized, controlled trial. *Eur Neuropsychopharmacol*, 25(6), 798-807. doi: 10.1016/j.euroneuro.2015.03.001
- Rezey, J. V., Adam, M., Khatami, R., Luhmann, U. F., Jung, H. H., Berger, W. y Landolt, H. P. (2007). A genetic variation in the adenosine A2A receptor gene (ADORA2A) contributes to individual sensitivity to caffeine effects on sleep. *Clin Pharmacol Ther*, 81(5), 692-698. doi: 10.1038/sj.clpt.6100102
- Rodriguez-Rosell, D., Mora-Custodio, R., Franco-Marquez, F., Yanez-Garcia, J. M. y Gonzalez-Badillo, J. J. (2017). Traditional vs. Sport-Specific Vertical Jump Tests: Reliability, Validity, and Relationship With the Legs Strength and Sprint Performance in Adult and Teen Soccer and Basketball Players. *J Strength Cond Res*, 31(1), 196-206. doi: 10.1519/JSC.0000000000001476
- Royal, K. A., Farrow, D., Mujika, I., Halson, S. L., Pyne, D. y Abernethy, B. (2006). The effects of fatigue on decision making and shooting skill performance in water polo players. *J Sports Sci*, 24(8), 807-815. doi: 10.1080/02640410500188928
- Salinero, J. J., Lara, B., Abian-Vicen, J., Gonzalez-Millán, C., Areces, F., Gallo-Salazar, C., Ruiz-Vicente, D. y Del Coso, J. (2014). The use of energy drinks in sport: perceived ergogenicity and side effects in male and female athletes. *Br J Nutr*, 112(09), 1494-1502. doi: 10.1017/S0007114514002189
- Salinero, J. J., Lara, B., Ruiz-Vicente, D., Areces, F., Puente-Torres, C., Gallo-Salazar, C., Pascual, T. y Del Coso, J. (2017). CYP1A2 Genotype Variations Do Not Modify the Benefits and Drawbacks of Caffeine during Exercise: A Pilot Study. *Nutrients*, 9(3). doi: 10.3390/nu9030269
- Sampaio, J., Godoy, S. I. y Feu, S. (2004). Discriminative power of basketball game-related statistics by level of competition and sex. *Percept Mot Skills*, 99(3 Pt 2), 1231-1238. doi: 10.2466/pms.99.3f.1231-1238

- Sampaio, J., Ibáñez, S., Lorenzo, A. y Gómez, M. (2006). Discriminative game-related statistics between basketball starters and nonstarters when related to team quality and game outcome. *Percept Mot Skills*, 103(2), 486-494. doi: 10.2466/pms.103.2.486-494
- Sampaio, J. y Janeira, M. A. (2003). Statistical analyses of basketball team performance: understanding teams' wins and losses according to a different index of ball possessions. *Int J Perf Anal Spor*, 3(1), 40-49.
- Scanlan, A. T., Dascombe, B. J. y Reaburn, P. (2011). A comparison of the activity demands of elite and sub-elite Australian men's basketball competition. *J Sports Sci*, 29(11), 1153-1160. doi: 10.1080/02640414.2011.582509
- Scanlan, A. T., Dascombe, B. J., Reaburn, P. y Dalbo, V. J. (2012). The physiological and activity demands experienced by Australian female basketball players during competition. *J Sci Med Sport*, 15(4), 341-347. doi: 10.1016/j.jsams.2011.12.008
- Seifert, S. M., Schaechter, J. L., Hershorin, E. R. y Lipshultz, S. E. (2011). Health effects of energy drinks on children, adolescents, and young adults. *Pediatrics*, 127(3), 511-528. doi: 10.1542/peds.2009-3592
- Share, B., Sanders, N. y Kemp, J. (2009). Caffeine and performance in clay target shooting. *J Sports Sci*, 27(6), 661-666. doi: 10.1080/02640410902741068
- Skinner, T. L., Jenkins, D. G., Coombes, J. S., Taaffe, D. R. y Leveritt, M. D. (2010). Dose response of caffeine on 2000-m rowing performance. *Med Sci Sports Exerc*, 42(3), 571-576. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181b6668b
- Spriet, L. L. (2014). Exercise and sport performance with low doses of caffeine. *Sports Med*, 44 Suppl 2, S175-184. doi: 10.1007/s40279-014-0257-8
- Stojanovic, M. D., Ostojic, S. M., Calleja-Gonzalez, J., Milosevic, Z. y Mikic, M. (2012). Correlation between explosive strength, aerobic power and repeated sprint ability in elite basketball players. *J Sports Med Phys Fitness*, 52(4), 375-381.
- Thomas, A., Dawson, B. y Goodman, C. (2006). The yo-yo test: reliability and association with a 20-m shuttle run and VO<sub>2</sub>max. *Int J Sports Physiol Perform*, 1(2), 137-149.

- Thomas, R., Algrain, H., Ryan, E., Popojas, A., Carrigan, P., Abdulrahman, A. y Carrillo, A. (2016). Influence of a CYP1A2 polymorphism on post-exercise heart rate variability in response to caffeine intake: a double-blind, placebo-controlled trial. *Ir J Med Sci*.doi: 10.1007/s11845-016-1478-7
- Trninić, S., Dizdar, D. y Lukšić, E. (2002). Differences between winning and defeated top quality basketball teams in final tournaments of European club championship. *Coll Antropol*, 26(2), 521-531.
- Tucker, M. A., Hargreaves, J. M., Clarke, J. C., Dale, D. L. y Blackwell, G. J. (2013). The effect of caffeine on maximal oxygen uptake and vertical jump performance in male basketball players. *J Strength Cond Res*, 27(2), 382-387. doi: 10.1519/JSC.0b013e31825922aa
- Vaquera, A., Refoyo, I., Villa, J. G., Calleja, J., Rodríguez, J. A., García, J. y Sampedro, J. (2008). Heart rate response to game-play in professional basketball players. *J Hum Sport Exerc*, 3(1), 1-9.
- Vernillo, G., Silvestri, A. y La Torre, A. (2012). The yo-yo intermittent recovery test in junior basketball players according to performance level and age group. *J Strength Cond Res*, 26(9), 2490-2494. doi: 10.1519/JSC.0b013e31823f2878
- Wiles, J. D., Bird, S. R., Hopkins, J. y Riley, M. (1992). Effect of caffeinated coffee on running speed, respiratory factors, blood lactate and perceived exertion during 1500-m treadmill running. *Br J Sports Med*, 26(2), 116-120. doi: 10.1136/bjism.26.2.116
- Wilson, M. R., Vine, S. J. y Wood, G. (2009). The influence of anxiety on visual attentional control in basketball free throw shooting. *J Sport Exerc Psychol*, 31(2), 152-168. doi: 10.1123/jsep.31.2.152
- Womack, C. J., Saunders, M. J., Bechtel, M. K., Bolton, D. J., Martin, M., Luden, N. D., Dunham, W. y Hancock, M. (2012). The influence of a CYP1A2 polymorphism on the ergogenic effects of caffeine. *J Int Soc Sports Nutr*, 9(1), 7. doi: 10.1186/1550-2783-9-7
- Ziv, G. y Lidor, R. (2009). Physical attributes, physiological characteristics, on-court performances and nutritional strategies of female and male basketball players. *Sports Med*, 39(7), 547-568. doi: 10.2165/00007256-200939070-00003



# 9 ANEXOS





## **ANEXO 1**

---

Physical and physiological demands of experienced male basketball players during a competitive game.





# PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL DEMANDS OF EXPERIENCED MALE BASKETBALL PLAYERS DURING A COMPETITIVE GAME

CARLOS PUENTE,<sup>1</sup> JAVIER ABIÁN-VICÉN,<sup>1,2</sup> FRANCISCO ARECES,<sup>1</sup> ROBERTO LÓPEZ,<sup>1</sup> AND JUAN DEL COSO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Exercise Physiology Laboratory, Camilo José Cela University, Madrid, Spain; and <sup>2</sup>Performance and Sport Rehabilitation Laboratory, Faculty of Sport Sciences, University of Castilla La Mancha, Toledo, Spain

## ABSTRACT

Puente, C, Abián-Vicén, J, Areces, F, López, R, and Del Coso, J. Physical and physiological demands of experienced male basketball players during a competitive game. *J Strength Cond Res* 31(4): 956–962, 2017—The aim of this investigation was to analyze the physical and physiological demands of experienced basketball players during a real and competitive game. Twenty-five well-trained basketball players (8 guards, 8 forwards, and 9 centers) played a competitive game on an outdoor court. Instantaneous running speeds, the number of body impacts above 5 g, and the number of accelerations and decelerations were assessed by means of a 15-Hz global Positioning System accelerometer unit. Individual heart rate was also recorded using heart rate monitors. As a group mean, the basketball players covered  $82.6 \pm 7.8$  m·min<sup>-1</sup> during the game with a mean heart rate of  $89.8 \pm 4.4\%$  of maximal heart rate. Players covered  $3 \pm 3\%$  of the total distance running at above  $18$  km·h<sup>-1</sup> and performed  $0.17 \pm 0.13$  sprints per minute. The number of body impacts was  $8.2 \pm 1.8$  per minute of play. The running pace of forwards was higher than that of centers ( $86.8 \pm 6.2$  vs.  $76.6 \pm 6.0$  m·min<sup>-1</sup>;  $p \leq 0.05$ ). The maximal speed obtained during the game was significantly higher for guards than that for centers ( $24.0 \pm 1.6$  km·h<sup>-1</sup> vs.  $21.3 \pm 1.6$  km·h<sup>-1</sup>;  $p \leq 0.05$ ). Centers performed a lower number of accelerations/decelerations than guards and forwards ( $p \leq 0.05$ ). In conclusion, the extraordinary rates of specific movements performed by these experienced basketball players indicate the high physiological demands necessary to be able to compete in this sport. The centers were the basketball players who showed lower physiological demands during a game, whereas there were no differences between guards and forwards. These results can be used by coaches

to adapt basketball training programs to the specific demands of each playing position.

**KEY WORDS** GPS technology, team sports, athletic performance, heart rate, accelerometry

## INTRODUCTION

Basketball is an intermittent team sport which implies the combination of high-intensity actions with periods of lower intensity and/or recovery (1). Despite the high cardiovascular demands and the importance of aerobic metabolism in this sport (24), success in elite basketball is mostly determined by fast and power-based sport-specific actions which rely on anaerobic pathways. In fact, basketball-specific actions that involve sprinting or jumping have a key importance for scoring in this sport (20,22). Professional basketball players perform a mean of  $44 \pm 7$  jumps during a basketball game (6). Besides, other specific movements of basketball (e.g., rebounding, dribbling, shooting, and blocking) are executed at high intensities and are closely related to the development of muscle strength and power, speed, and agility (9). Previous investigations have reported mean heart rates of 80–95% of maximal heart rate during competitive games (6,29) and mean blood lactate concentrations of 3.2–6.8 mmol/L (6,24,25).

Previous studies have examined the physical load and activity demands of basketball players using video-based time-motion analysis (7,21,28). These investigations have reported that a high proportion of the basketball play time is spent at low intensities, with a minor proportion of the time devoted to sprint- and power-based exercise actions. However, there is a consensus in which low-intensity activities in a basketball game are needed to allow the recovery necessary to perform the repeated bouts of 10–30 seconds of high-intensity activity required for modern basketball (18). A running pace of  $156$  m·min<sup>-1</sup> has been reported for Australian subelite and elite basketball players, while  $15.3 \pm 14.8$  m·min<sup>-1</sup> was covered at sprint intensity (27). Other investigations have reported sprinting paces of  $19.1 \pm 4.2$  m·min<sup>-1</sup> during competitive

Address correspondence to Dr. Javier Abián-Vicén, javier.abian@uclm.es. 31(4)/956–962

*Journal of Strength and Conditioning Research*  
© 2016 National Strength and Conditioning Association

games in junior elite players (5). However, the use of time-motion analysis has led to controversial conclusions when studying basketball players because the times spent at low (from 30 to 72%), moderate (from 17 to 68%), and high intensity (from 2 to 20%) can substantially vary among investigations (6,7,27).

For decades, sport researchers and coaches have depended on time-motion analysis to measure, assess, and quantify the physical loads and movement patterns of basketball players. The constraints produced using this methodology have likely prevented obtaining more objective and reliable data (21). On the contrary, other novel methods, such as the use of Global Positioning System (GPS) devices, have allowed researchers of other sport disciplines to evaluate physical demands and activity patterns through the measurement of instantaneous running speeds, the number of accelerations and decelerations, and the quantification of body accelerometry in team sports played outdoors (e.g., rugby, soccer, and handball; (4,15,17)). Therefore, the main goal of this study was to characterize the activity pattern of experienced basketball players during a competitive game using GPS devices to describe the physical and physiological demands among the different basketball playing positions (centers, forwards, and guards).

## METHODS

### Experimental Approach to the Problem

A cross-sectional design was used in this study. Activity patterns and physiological demands in basketball players were examined during an official basketball tournament that included 20-minute games during a classification round. The measurements were obtained during the first day of the tournament (from 12 AM to 5 PM), and the data corresponded to the first game for each team to avoid the effects of fatigue on the results of the investigation. The tournament was held in Madrid in June 2014, at the end of the official basketball season. The games were played in an outdoor official basketball facility (28 × 15 m) with 5 players per side. The day before the tournament, participants were encouraged to abstain from all dietary sources of caffeine (coffee, cola drinks, chocolate, etc.) and alcohol for 48 hours before the onset of the experimental trials and to perform only light-intensity exercise. Participants were also instructed to avoid strenuous exercise the day before and to adopt a precompetition diet that included at least 7 g·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> of carbohydrate. The compliance of these standards was confirmed by self-reported training and food/drink diaries. The data on these diaries were used to calculate energy and macronutrient intake by means of nutrition software (PCN software; Cesnid, Spain). The day before the competition, basketball players consumed 3739 ± 255 kcal (~67.4/13.4/19.2% for carbohydrate, protein, and fat).

### Subjects

Twenty-five male basketball players from different national-level teams volunteered to participate in this investigation.

The 25 players who completed the study had a mean ± SD for age, body mass, and height of 25.6 ± 5.2 years (range: 19 to 35 years), 83.8 ± 9.3 kg, and 187.5 ± 8.5 cm, respectively. The study sample included guards (*n* = 8), forwards (*n* = 8), and centers (*n* = 9). Inclusion criteria were that all the participants had at least 6 years of basketball experience, had competed as a federated player in a national-level Spanish basketball federation from the 2009/2010 season to the 2013/2014 season, and had trained at least 4 days per week during the previous year. Exclusion criteria included a history of cardiopulmonary disease, smoking, and the use of medications or nutritional supplements for the duration of the study. One week before the onset of the investigation, participants were fully informed of the aims and the risks of the study, and subsequently gave their informed written consent to voluntarily participate. The study was approved by the Camilo José Cela Ethics Committee in accordance with the latest version of the Declaration of Helsinki.

### Experimental Procedures

In the morning of the experimental day, participants arrived at the outdoor basketball facility and dressed in a T-shirt, shorts, and indoor basketball shoes. Players were weighed (±50 g; Radwag, Poland), and their body height was also measured (model 217, Seca, Germany). Subsequently, each participant put on a GPS/accelerometer/heart rate device inserted in an adjustable neoprene harness (GPS, SPI PRO X; GPSports, Australia), and a heart rate monitor (T34; Polar, Finland) was firmly attached to their chest. Each player verified that the harness and the heart rate band did not hinder any basketball-specific movements. Participants then performed a 15-minute standardized warm-up, replicating precompetition routines, consisting of continuous running and specific drills with the ball (dribbles and shots). After the warm-up, each participant performed 2 countermovement jumps and 2 Abalakov jumps for maximal height on a force platform (Quattrojump, Kistler, Switzerland; sampling rate of 500 Hz) as previously described (1). For these jumps, basketball players began stationary in an upright position on the force platform with their weight evenly distributed over both feet. During the execution of the countermovement jumps, players placed their hands on their waist to remove the influence of the arms on the jump, whereas the movement of the arms was not restricted during the execution of Abalakov jumps. On command, the participant flexed their knees and jumped as high as possible and landed with both feet. There was set a 1-minute resting period between repetitions. The vertical height reached in each jump was calculated using flight time. For each type of jump, the attempt with the highest height was chosen for statistical analysis.

Each game consisted of 2 halves of 10 minutes with a break of 2 minutes between them, following the rules of

**TABLE 1.** Running distances covered at different speeds during a competitive basketball game depending on the playing position.\*

Playing position	Running pace (m·min <sup>-1</sup> )	Zone 1 (m·min <sup>-1</sup> )	Zone 2 (m·min <sup>-1</sup> )	Zone 3 (m·min <sup>-1</sup> )	Zone 4 (m·min <sup>-1</sup> )	Zone 5 (m·min <sup>-1</sup> )
Guards	85.3 ± 7.5 (71.2–94.3)	37.7 ± 2.9 (35.0–43.2)	31.5 ± 6.9 (19.3–39.5)	12.9 ± 3.2 (7.1–17.9)	3.1 ± 1.1 (1.6–5.3)	0.1 ± 0.2 (0.0–0.6)
Forwards	86.8 ± 6.2 (77.9–97.5)	37.2 ± 4.6 (31.7–45.9)	32.0 ± 5.3 (20.9–39.1)	15.0 ± 4.3 (9.6–23.2)	2.2 ± 1.9 (0.6–5.9)	0.5 ± 1.3 (0.0–3.6)
Centers	76.6 ± 6.0† (68.2–88.2)	34.6 ± 3.0 (30.7–38.9)	29.5 ± 5.8 (21.9–38.1)	10.9 ± 3.0 (6.9–15.5)	1.6 ± 1.6 (0.1–4.2)	0.0 ± 0.0 (0.0–0.0)
Whole group	82.6 ± 7.8 (68.2–97.5)	36.4 ± 3.7 (30.7–45.9)	30.9 ± 5.9 (19.3–39.5)	12.8 ± 3.8 (6.9–23.2)	2.3 ± 1.6 (0.1–5.9)	0.2 ± 0.7 (0.0–3.6)

\*Data are represented as mean ± SD (range) for guards ( $n = 8$ ), forwards ( $n = 8$ ), and centers ( $n = 9$ ). Standing and walking (zone 1), jogging or low-speed running (zone 2), running or moderate-speed running (zone 3), high-speed running (zone 4), and maximal-speed running (zone 5).

†Different from forwards ( $p < 0.05$ ).

the FIBA (International Basketball Federation; except for the game duration). Time-outs were not allowed because of the characteristics of the tournament. Two professional referees made decisions in each game during the competition. Subjects played in their habitual positions, and changes among players were freely allowed and notated to analyze individual playing times. Each game was video-recorded (CX625; Sony, Japan) to facilitate the calculation of individual playing times, which ranged from 14 to 20 minutes.

During the games, the GPS device recorded data on distance covered, instantaneous running speed, and player impacts at 15 Hz whereas the heart rate monitor registered data at 1 Hz. The high reliability of the GPS system for measuring movement patterns in team sports players has

been previously reported (coefficient of variation of ~2%) (3,14). Heart rate was relativized by individual's maximal heart rate, obtained during an incremental running test until volitional fatigue on a treadmill, measured on a different day. Running activities during the basketball game were standardized into 5 speed categories adapted from a previous investigation (24) as follows: zone 1 (standing and walking;  $\leq 6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), zone 2 (jogging or low-speed running; from  $6.1$  to  $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), zone 3 (running or moderate-speed running; from  $12.1$  to  $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), zone 4 (high-speed running; from  $18.1$  to  $24 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), and zone 5 (maximal-speed running;  $>24 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Any running activity with a speed higher than  $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  and at least 1 second of duration was considered as a sprint bout, as previously reported for indoor team sports played on a court of similar characteristics (e.g.,

**TABLE 2.** Physical load and jump height during a countermovement jump in experienced basketball players during a competition depending on the playing position.\*†

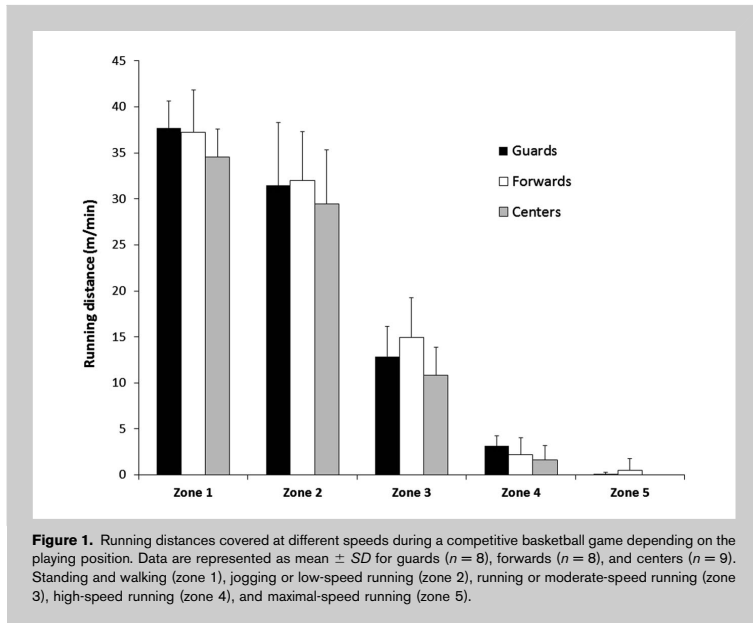
Playing position	Maximal speed (km·h <sup>-1</sup> )	Heart rate (%HR <sub>max</sub> )	Sprints (L·min <sup>-1</sup> )	Acce/Decel (L·min <sup>-1</sup> )	CMJ jump (m)	Abalakov jump (m)
Guards	24.0 ± 1.6 (21.4–26.6)	89.6 ± 4.7 (82.7–95.5)	0.23 ± 0.08 (0.10–0.34)	8.0 ± 2.0 (4.8–10.4)	0.58 ± 0.03 (0.53–0.61)	0.65 ± 0.03 (0.60–0.68)
Forwards	22.4 ± 3.9 (18.6–30.6)	87.8 ± 3.2 (83.8–91.0)	0.18 ± 0.18 (0.00–0.47)	7.7 ± 1.1 (6.6–9.3)	0.58 ± 0.05 (0.49–0.64)	0.64 ± 0.06 (0.55–0.71)
Centers	21.3 ± 1.6‡ (18.1–23.0)	92.7 ± 4.7 (89.4–100.7)	0.12 ± 0.11 (0.00–0.28)	5.7 ± 1.0‡§ (3.7–6.8)	0.57 ± 0.02 (0.53–0.61)	0.63 ± 0.04 (0.56–0.71)
Whole group	22.5 ± 2.7 (18.1–30.6)	89.8 ± 4.4 (82.7–100.7)	0.17 ± 0.13 (0.00–0.47)	7.1 ± 1.7 (3.7–10.4)	0.58 ± 0.04 (0.49–0.64)	0.64 ± 0.04 (0.55–0.71)

\*CMJ = countermovement jumps; Acce/Decel = Sum of accelerations and decelerations during the game.

†Data are represented as mean ± SD (range) for guards ( $n = 8$ ), forwards ( $n = 8$ ), and centers ( $n = 9$ ).

‡Different from guards ( $p \leq 0.05$ ).

§Different from forwards ( $p \leq 0.05$ ).



indoor soccer and handball; (4,11)). The number of accelerations and decelerations was also registered (26).

### Statistical Analyses

The normality of all physical and physiological variables was tested with the Kolmogorov-Smirnov test. All the variables included in this investigation showed a normal distribution ( $p > 0.05$ ), and parametric tests were applied for the variables analyzed as a group mean. Overall data on the 25 basketball players included in this investigation are presented as a group mean  $\pm$  SD (minimal - maximal value). The differences in the variables analyzed among playing positions (guards, forwards, and centers) were identified using a Kruskal-Wallis one-way analysis of variance. All the data were normalized by playing time to compare individuals with different participations during the games. Participants with less than 10 minutes of playing time were excluded from the investigation. The effect size was calculated in all pairwise comparisons according to the formula proposed by Glass, McGaw, and Smith (19). The magnitude of the effect size was interpreted using Cohen's scale (13) as follows: an effect size lower than 0.2 was considered as small, an effect size around 0.5 was considered as medium, and an effect size over 0.8 was considered as large.

### RESULTS

Centers ( $92.1 \pm 8.0$  kg) were significantly heavier ( $p \leq 0.05$ ;  $d = 1.9$ ) than guards ( $76.4 \pm 6.0$  kg) and taller ( $p \leq 0.05$ ;  $d = 1.9$  and 2.6, respectively) than the remaining players

(centers =  $195.2 \pm 5.4$  cm, guards:  $181.3 \pm 6.9$  cm, and forwards:  $185.0 \pm 6.3$  cm). As a group mean, the basketball players covered  $82.6 \pm 7.8$  m  $\cdot$  min<sup>-1</sup> ( $68.2$ – $97.5$  m  $\cdot$  min<sup>-1</sup>) during the basketball game. The total distance covered was divided into 5 zones at different speeds, ranging from standing and walking (zone 1) to maximal-speed running (zone 5). As shown in Table 1, the basketball players covered most of the distance at lower speeds ( $44 \pm 7$  and  $37 \pm 5\%$  of the total distance were covered in zone 1 and zone 2, respectively). In zone 3 (moderate-speed running), the players covered  $15 \pm 3\%$  of the total of distance, whereas  $3 \pm 2\%$  of the total distance were covered at high-speed running (e.g., zone 4). The basketball players performed  $0.2 \pm 0.7$  m  $\cdot$  min<sup>-1</sup> ( $0.0$ – $3.6$  m  $\cdot$  min<sup>-1</sup>)

in zone 5 ( $>24$  km  $\cdot$  h<sup>-1</sup>). Players covered  $3 \pm 3\%$  of the total distance at a speed higher than  $18$  km  $\cdot$  h<sup>-1</sup> (e.g., zone 4 plus zone 5). On average, the basketball players performed  $0.17 \pm 0.13$  sprints per minute ( $0.00$ – $0.47$  1/min) at above  $18$  km  $\cdot$  h<sup>-1</sup>.

The mean heart rate was  $169 \pm 8$  bpm ( $155$ – $189$  bpm) during the game, corresponding to  $89.8 \pm 4.4\%$  ( $82.7$ – $100.7\%$ ) of the players' maximal heart rates. There were body accelerations every  $14 \pm 4$  seconds, whereas body deceleration took place every  $29 \pm 9$  seconds. On average, body acceleration/ deceleration occurred every  $7.1 \pm 1.7$  seconds ( $3.7$ – $10.4$  1/s) in basketball players during the competitive game. Moreover, a mean of  $8.2 \pm 1.8$  body impacts above 5 g was recorded every minute during the game indicating their high frequency.

When taking the players' positions on the court into account, the internal loads of the participants differed considerably during the basketball game. As is depicted in Table 2, centers covered less distance per minute than forwards ( $p \leq 0.05$ ;  $d = 1.6$ ), and the maximal running speed of guards was significantly higher ( $p \leq 0.05$ ;  $d = 1.7$ ) than that of centers. However, the distribution of the running activities based on the running speed was not statistically different among positions (Table 1). Guards and forwards also performed more body accelerations/decelerations than centers ( $p \leq 0.05$ ;  $d = 1.2$  and 1.8, respectively).

### DISCUSSION

To our knowledge, this is the first investigation that has analyzed the internal and external loads imposed by

a competitive basketball game on experienced players using GPS devices and accelerometers. In this study, participants covered a mean of  $82.6 \pm 7.8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  during the game. Previous investigations have reported results very different from the ones obtained in this investigation in relation to the running pace of basketball players during play ( $\sim 130 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ) despite similar competitive levels (27). This high variance could be due to the type of methodology (i.e., time-motion analyses) used in previous investigations to describe the physical and physiological demands in basketball. Several studies have already analyzed the activity pattern in sports such as soccer (12,15), Australian football (2), rugby (16,17), and outdoor handball (4) using GPS, like in this study. The running pace covered in these sports was notably lower than the data reported in basketball using time-motion analysis (e.g., soccer:  $91.9 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ; rugby:  $79.2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ; outdoor handball:  $94.0 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ) and more similar to this investigation. Although GPS devices have relatively small errors during the recording of movement patterns in team sports, their high frequency is able to register high-speed actions and facilitate the recording of short movements in comparison with video analysis. All this information suggests that previous data on the running activities of experienced basketball players might be overestimated using video-based time-motion analyses.

The nature and intensity of the game could be another important key for the study of the movement patterns of basketball (4). Although most studies analyzed 40-minute basketball games, the analysis of this investigation consisted of 20-minute games because of the characteristics of the outdoor tournament. However, we registered a mean heart rate of  $169 \pm 8 \text{ bpm}$ , a value very similar to the one reported in other studies (171 and 156 bpm) which used 40-minute games (29,30). These data suggest that overall intensity was similar in this 20-minute game with respect to previous investigations. In addition, the use of micro technological sensors such as accelerometers has also allowed the analysis of body impacts in this investigation, which represent an unspecific assessment of the amount and magnitude of high-intensity activities without measurable movements on the basketball surface (i.e., jumps, screens, rebounds, etc) which thus cannot be registered by the GPS. Basketball players experienced  $8.2 \pm 1.8$  body impacts above 5 g per minute during the game, a lower rate of body impacts than previously found in handball ( $13.4 \pm 4.4 \text{ impacts} \cdot \text{min}^{-1}$ ) but apparently similar to a previous study in rugby ( $8.0 \pm 5.9 \text{ impacts} \cdot \text{min}^{-1}$ ). This information indicates that the physical load necessary to compete in a basketball game cannot be only determined by the measurement of the number and intensity of actions. The measurement of body impacts is also necessary to correctly determine the external load imposed during basketball.

Australian professional basketball players spent 38% of the game play time walking (24), and Tunisian elite junior

basketball players spent 77% of the time in low-intensity activities during official basketball games (5). Other studies have also demonstrated that basketball games at different competitive levels involve an important phase of the game covered in low-intensity activities (6,25,28). Similarly, in this study, our experienced basketball players spent  $44 \pm 7\%$  of play time walking at a speed of  $36.4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  (Table 1). Likewise, players covered  $81 \pm 13\%$  of the distance at low-intensity running (less than  $12 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) during the competitive basketball game. Despite a large contribution of low-intensity activities in basketball, sprinting and high-intensity running are considered as key factors in team-sport performance (8,10) because the ability to complete repeated sprints during a game could be related to competing at a higher competitive level (20,24). In terms of high-intensity speed ( $>18 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ), the players covered  $3 \pm 3\%$  of the total distance at this rate during the game. Such proportions are similar to those observed in elite male basketball players (2–6%) of different categories (5,27). All these data suggest that despite their importance for scoring, a very low proportion of movements are performed at high intensity or sprint intensity during basketball. It is likely that an improvement in running pace performed at high intensity might represent a meaningful advantage for success in basketball.

Body height and body mass have been used typically as the main individual factors to define the court position of a basketball player. However, this investigation also offers information for analyzing the differences in the physical and physiological demands necessary for guards, forwards, and centers (Tables 1 and 2). On one hand, centers were the players with the lowest running pace during the game, although there were no significant differences in the profile of the running distance covered at different speeds (Figure 1). On the other hand, guards managed to run at a higher maximal speed ( $24.0 \pm 1.6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) than centers ( $21.3 \pm 1.6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ), and centers presented a lower amount of accelerations/decelerations ( $5.7 \pm 1.0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ) than both guards ( $8.0 \pm 2.0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ) and forwards ( $7.7 \pm 1.1 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ). In fact, these movement variables (accelerations/decelerations) likely indicate that centers performed a lower number of changes of direction during the game than the rest of the players. These results may be related to the statistically significant differences in the anthropometry of the players because centers were heavier than guards and taller than the rest of the players. However, the lower amount of accelerations/decelerations in centers might reflect the specificity of the movements of this type of players in the court, as most of their displacements are shorter than the remaining positions during offensive and defensive plays. All this information specific to the basketball playing position complements a previous investigation that suggested that centers were less agile than those in the remaining playing positions (23). Thus, the current investigation suggests that centers are the players

with a lower physical and physiological demand with respect to overall running movements, accelerations, and decelerations, with minimal differences between guards and forwards.

In summary, basketball players covered  $82.6 \pm 7.8$  m·min<sup>-1</sup> during a competitive game, with the centers being the players with a lower running pace. Although most of the playing time was spent at low-to-moderate exercise intensity, the players covered  $3 \pm 3\%$  of the total distance at speeds higher than 18 km·h<sup>-1</sup>, with  $0.17 \pm 0.13$  sprints per minute, and body accelerations/decelerations every  $7.1 \pm 1.7$  seconds. Again, the centers were the players with a lower proportion of running speeds at high-intensity exercise and a lower frequency of changes of direction.

### PRACTICAL APPLICATIONS

This investigation has used GPS devices to describe the physical and physiological requirements in basketball. The results of this investigation show the high rates of specific movements performed by the basketball players which determine the high physiological demands necessary to compete in this sport. However, this investigation also demonstrates that each basketball playing position requires particular physical attributes depending on the movements performed in each court position. In this sense, centers show lower physical and physiological demands than the other positions. Therefore, this investigation suggests that those individual conditioning programs should be well adapted to the specific physical requirements of basketball. Moreover, basketball coaches should focus on these differences to improve the application of conditioning training in basketball.

### ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the participants in this study for their invaluable contribution. In addition, the authors are very grateful to the Madrid Lavapiés Streetball Champs Tournament for their help in setting up the investigation area.

### REFERENCES

1. Abian-Vicen, J, Puente, C, Salinero, J, González-Millán, C, Arecos, F, Muñoz-Guerra, J, and Del Coso, J. A caffeinated energy drink improves jump performance in adolescent basketball players. *Amino Acids* 46: 1333–1341, 2014.
2. Aughey, RJ. Australian football player work rate: Evidence of fatigue and pacing? *Int J Sports Physiol Perform* 5: 394–405, 2010.
3. Barbero-Alvarez, JC, Coutts, A, Granda, J, Barbero-Alvarez, V, and Castagna, C. The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. *J Sci Med Sport* 13: 232–235, 2010.
4. Barbero, J, Granda-Vera, J, Calleja-González, J, and Del Coso, J. Physical and physiological demands of elite team handball players. *Int J Perf Anal Sport* 14: 921–933, 2014.
5. Ben Abdelkrim, N, Castagna, C, Jabri, I, Battikh, T, El Fazaa, S, and El Ati, J. Activity profile and physiological requirements of junior elite basketball players in relation to aerobic-anaerobic fitness. *J Strength Cond Res* 24: 2330–2342, 2010.

6. Ben Abdelkrim, N, El Fazaa, S, and El Ati, J. Time-motion analysis and physiological data of elite under-19-year-old basketball players during competition. *Br J Sport Med* 41: 69–75, 2007.
7. Bishop, C and Wright, C. A time-motion analysis of professional basketball to determine the relationship between three activity profiles: High, medium and low intensity and the length of the time spent on court. *Int J Perf Anal Sport* 6: 130–139, 2006.
8. Bishop, D, Girard, O, and Mendez-Villanueva, A. Repeated-sprint ability—Part II: Recommendations for training. *Sports Med* 41: 741–756, 2011.
9. Castagna, C, Abt, G, Manzi, V, Annino, G, Padua, E, and D'Ottavio, S. Effect of recovery mode on repeated sprint ability in young basketball players. *J Strength Cond Res* 22: 923–929, 2008.
10. Castagna, C, D'Ottavio, S, and Abt, G. Activity profile of young soccer players during actual match play. *J Strength Cond Res* 17: 775–780, 2003.
11. Castagna, C, D'Ottavio, S, Granda Vera, J, and Barbero Alvarez, JC. Match demands of professional Futsal: A case study. *J Sci Med Sport* 12: 490–494, 2009.
12. Castagna, C, Manzi, V, Impellizzeri, F, Weston, M, and Barbero Alvarez, JC. Relationship between endurance field tests and match performance in young soccer players. *J Strength Cond Res* 24: 3227–3233, 2010.
13. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
14. Coutts, AJ and Duffield, R. Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *J Sci Med Sport* 13: 133–135, 2010.
15. Del Coso, J, Munoz-Fernandez, VE, Munoz, G, Fernandez-Elias, VE, Ortega, JF, Hamouti, N, Barbero, JC, and Munoz-Guerra, J. Effects of a caffeine-containing energy drink on simulated soccer performance. *PLoS One* 7: e31380, 2012.
16. Del Coso, J, Portillo, J, Munoz, G, Abian-Vicen, J, Gonzalez-Millan, C, and Munoz-Guerra, J. Caffeine-containing energy drink improves sprint performance during an international rugby sevens competition. *Amino Acids* 44: 1511–1519, 2013.
17. Del Coso, J, Ramirez, JA, Munoz, G, Portillo, J, Gonzalez-Millan, C, Munoz, V, Barbero-Alvarez, JC, and Munoz-Guerra, J. Caffeine-containing energy drink improves physical performance of elite rugby players during a simulated match. *Appl Physiol Nutr Metab* 38: 368–374, 2013.
18. Drinkwater, EJ, Pyne, DB, and McKenna, MJ. Design and interpretation of anthropometric and fitness testing of basketball players. *Sports Med* 38: 565–578, 2008.
19. Glass, G, McGaw, B, and Smith, M. *Meta-Analysis in Social Research*. Newbury Park, CA: Sage, 1981.
20. Hoffman, JR, Tenenbaum, G, Maresh, CM, and Kraemer, WJ. Relationship between athletic performance tests and playing time in elite college basketball players. *J Strength Cond Res* 10: 67–71, 1996.
21. Hulka, K, Cuberek, R, and Svoboda, Z. Time-motion analysis of basketball players: A reliability assessment of Video Manual Motion Tracker 1.0 software. *J Sports Sci* 32: 53–59, 2014.
22. Klusemann, MJ, Pyne, DB, Foster, C, and Drinkwater, EJ. Optimising technical skills and physical loading in small-sided basketball games. *J Sports Sci* 30: 1463–1471, 2012.
23. Koklu, Y, Alemdaroglu, U, Kocak, FU, Erol, AE, and Findikoglu, G. Comparison of chosen physical fitness characteristics of Turkish professional basketball players by division and playing position. *J Hum Kinet* 30: 99–106, 2011.
24. McInnes, SE, Carlson, JS, Jones, CJ, and McKenna, MJ. The physiological load imposed on basketball players during competition. *J Sports Sci* 13: 387–397, 1995.
25. Narazaki, K, Berg, K, Stergiou, N, and Chen, B. Physiological demands of competitive basketball. *Scand J Med Sci Sports* 19: 425–432, 2009.

26. Osgnach, C, Poser, S, Bernardini, R, Rinaldo, R, and di Prampero, PE. Energy cost and metabolic power in elite soccer: A new match analysis approach. *Med Sci Sports Exerc* 42: 170–178, 2010.
27. Scanlan, A, Dascombe, B, and Reaburn, P. A comparison of the activity demands of elite and sub-elite Australian men's basketball competition. *J Sports Sci* 29: 1153–1160, 2011.
28. Scanlan, AT, Dascombe, BJ, Reaburn, P, and Dalbo, VJ. The physiological and activity demands experienced by Australian female basketball players during competition. *J Sci Med Sport* 15: 341–347, 2012.
29. Vaquera Jimenez, A, Refoyo Roman, I, Villa Vicente, J, Calleja Gonzalez, J, Rodriguez Marroyo, JA, Garcia Lopez, J, and Sampedro Molinuevo, J. Heart rate response to game-play in professional basketball players. *J Hum Sport Exerc* 3: 1–9, 2008.
30. Ziv, G and Lidor, R. Physical attributes, physiological characteristics, on-court performances and nutritional strategies of female and male basketball players. *Sports Med* 39: 547–568, 2009.





## **ANEXO 2**

---

Basketball performance indicators during the ACB regular season from 2003 to 2013.



# Basketball performance indicators during the ACB regular season from 2003 to 2013

Carlos Puente<sup>1</sup>, Juan Del Coso<sup>1</sup>, Juan J Salinero<sup>1</sup> and Javier Abián-Vicén.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Camilo José Cela University. Exercise Physiology Laboratory. Sport Science Institute, Madrid, Spain.

<sup>2</sup>University of Castilla-La Mancha. Performance and Sport Rehabilitation Laboratory. Faculty of Sport Sciences, Toledo, Spain.

## Abstract

*The aim of this study was to identify basketball game performance indicators that best explain the number of wins achieved during a regular basketball season. Accumulated statistics were analyzed for 18 teams from the Spanish Basketball League (34 games per regular season per team) over 10 years (from 2003-to-2013) including a total of 3,060 basketball games. Teams were grouped by their final ranking in the regular season. Accuracy in 2-point field goals ( $r=0.66$ ) and the total number of assists ( $r=0.59$ ) were the variables that best correlated with the number of wins during the regular season. The highest variance explained for the number of wins during the regular season ( $r^2=0.76$ ) included shooting accuracy indicators and the number of rebounds (26% and 23% of variance explained respectively). Qualifying for the playoffs or being demoted to a lower category depended on accuracy in 2-and 3-point field goals, the number of assists and points received ( $P<0.05$ ). In conclusion, basketball success during a regular season is complex because it depends on the accomplishment of numerous game actions. However, shooting accuracy is the best game performance indicator in elite basketball because it positively correlated with the number of wins during a season and differentiated successful and unsuccessful basketball teams. Thus, basketball coaches should design specific training programs to increase shooting accuracy in order to improve their game performance.*

**Keywords:** notational analysis, basketball, game-indicators, wins, playoffs.

## 1. Introduction

In sport, coaches consider game-related statistics as an important resource to evaluate the performance of a team or a player in order to prepare the competition. Specifically, the notational analysis of professional and elite basketball teams has been used very often with the purpose of analyzing and improving the players' and team's performance (Hughes and Franks, 2004; Leite, Baker, and Sampaio, 2009; Lorenzo, Gómez, Ortega, Ibáñez, and Sampaio, 2010; Ortega, Villarejo, and Palao, 2009). The analysis of game-related indicators helps to evaluate and compare the performance of each player and the associations with the remaining players of the team during the game (Mikolajec,

Maszczyk, and Zajac, 2013). Over the years, numerous methods of registration and analysis have been created to measure game variables; from simple stat sheets completed by assistant coaches to fully computerized procedures which organize all the significant game-performance indicators (Lorenzo et al., 2010; Oliver, 2004).

During the competition phase, including games of the regular season and the playoffs (García, Ibáñez, Martínez De Santos, Leite, and Sampaio, 2013), several investigations have analyzed the differences between winning and losing teams by comparing the game outcome and the game type (e.g., close, balanced and unbalanced scores; (Csataljay, O'Donoghue, Hughes, and Dancs, 2009; García, Ibáñez, Gómez, and Sampaio, 2014)). In close games, the offensive success was determined by longer ball possessions with a greater number of passes and points scored against different defensive systems (Gómez, Tsamourtzis, and Lorenzo, 2006). In this type of games, other game predictors as the dribbler actions after a screen and the orientation of the screen on the ball was also considered as key factors for basketball success (Gómez et al., 2015). In balanced games, the variable that best differentiate winning and losing teams were defensive rebounds while in unbalanced games, the variables that discriminate between winning and losing teams were the accuracy in 2-point field-goals, the defensive rebounds and the assists (Gómez, Lorenzo, Sampaio, Ibáñez, and Ortega, 2008; Ibáñez, García, Feu, Lorenzo, and Sampaio, 2009).

In the regular season of the Spanish Professional League (306 games), the winning teams dominated in assists, defensive rebounds, and accuracy in 2- and 3-point field goals (García et al., 2013). However, during the playoffs (17 games), only the defensive rebounds were determinant for the win (García et al., 2013). Besides, the game performance indicators which best determined success in the National Basketball Association (NBA) were the percentage of wins, offensive efficiency, average number of points in the 3rd quarter, percentage of wins in close games and average number of fouls and steals (Mikolajec et al., 2013). The accuracy in field goals and the amount of offensive rebounds influenced on the game outcomes in a Basketball World Championship (Malarranha, Figueira, Leite, and Sampaio, 2013). Besides, elite junior teams were differentiated from senior teams by their lower percentage of assists and higher percentage of turnovers during World Basketball Championships (Sampaio, Godoy, and Feu, 2004) while basketball players who are selected for the starting five of the team (starters) typically obtained a higher amount of defensive rebounds, assists and committed less fouls than non-starters (Sampaio, Ibáñez, Lorenzo, and Gómez, 2006).

Most of the investigations mentioned above analyzed only one basketball season or specific tournaments and the predominance of game indicators could have been influenced by the particularities of each type of competition. In fact, other parameters such as coaches' philosophy, style of play and injuries can affect the relationship between game-related statistics and overall basketball performance. To increase the statistical power of the analysis of basketball performance indicators, we determined the basketball game indicators which best explain the total number of wins during the Spanish National Basketball League (ACB) during 10 regular seasons. A second purpose was to determine game-related indicators that differ among basketball teams qualified for the playoffs, teams not qualified for the playoffs and teams that lost their ACB category.

## 2. Methods

The data were obtained from the Spanish Professional League of the Basketball Clubs Association (ACB) for the regular seasons from 2003 to 2013 (10 seasons). Accumulated statistics were analyzed for 18 teams in each season (34 games from the regular season per team) including a total of 3,060 basketball games. Season 2008-2009 was excluded from this study because only 17 teams participated in the competition. Data were selected from the official ACB box scores (Spanish Basketball Clubs Association website, 2014). The following accumulated game-related statistics were gathered: points in favour, points received, free throws and 2- and 3-point field goals (made, attempted and accuracy), offensive and defensive rebounds, assists, steals, turnovers, received and committed blocks, dunks and fouls received and committed. The ranking at the end of the regular season was then registered in order to separate the teams qualified for the playoffs, the teams not qualified for the playoffs and the bottom two teams in each season. The study was approved by a Research Ethics Committee in accordance with the latest version of the Declaration of Helsinki.

We used Pearson's correlation to assess the association between all the game-related statistics and the number of wins during the regular season. For each game-related statistic analyzed in this study, we have calculated the 95% confidence interval for all correlations. We also performed a multiple regression analysis in a stepwise interactive mode aiming to assess the influence of each game-related statistic on the wins achieved during the regular season. For this calculation, the measured variables in the study were included based on their correlation with the residual ( $P < 0.1$ ) and their intercorrelation with variables already in the equation. The regression equation produced was accepted at a significance level of  $P < 0.01$ . Afterwards, the  $r^2$  values were adjusted for the number of cases and the number of parameters in the analysis. Using the standardized regression coefficients, the relative contribution of the different variables to the variance explained was calculated as follows:

Partial contribution  $r^2$  adjusted = ([Standardized regression coefficient for parameter] /  $\Sigma$  [of all standardized regression coefficients in equation]).

Finally, the real number of wins from the 2013-14 and 2014-15 regular seasons were compared to the predicted number of wins, obtained with the multiple regression analysis performed in this investigation. We used Pearson's correlations and intraclass correlation coefficients to assess the association between the real number and the predicted number of wins for the basketball teams competing in these two -2013-14 and 2014-15- regular seasons.

One way analyses of variance was used to determine if there was a significant difference among the teams qualified for the playoffs (ranked from 1<sup>st</sup> to 8<sup>th</sup>), the teams not qualified for the playoffs (ranked from 9<sup>th</sup> to 16<sup>th</sup>) and the bottom two teams (ranked from 17<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup>). After a significant F Test, differences between means were identified using Tukey's HSD post hoc test. The effect size (d) was calculated when a between-groups statistical difference was found. The magnitude of the effect size was interpreted using the scale of Cohen (Cohen, 1998): an effect size lower than 0.2 was considered a small, an effect size around 0.5 was considered a medium and an effect size over 0.8 was considered a large while the effect size proposed by Cohen. We also calculated the 95% confidence intervals for all mean differences between groups. The

significance level for the statistical analysis was set at  $P < 0.05$ . This statistical analysis was performed using the SPSS v.18 software package (SPSS Inc., USA).

### 3. Results

The significant correlations of all game-related statistics with respect to the numbers of wins during the regular season are represented in Table 1. Accuracy in 2-point field goals, the total number of assists and the number of points during the regular season (in favour and received) were the variables that best correlated with the number of wins during the regular season ( $P < 0.01$ ). However, the accuracy in free throws was the variable with the lowest correlation with the number of wins ( $P = 0.02$ ).

Table 1. Correlations between the number of wins during a basketball regular season and the game performance indicators.

<i>Game performance indicators</i>	<b>Pearson</b> (95% CI)	<b>P value</b>
Points in favour	0.57 (0.55/0.59)	0.01
Points received	-0.57 (-0.59/-0.55)	<0.01
3-point field goals made	0.34 (0.31/0.37)	<0.01
Accuracy in 3-point field goals	0.44 (0.41/0.47)	<0.01
2-point field goals made	0.35 (0.32/0.38)	<0.01
Accuracy in 2-point field goals	0.66 (0.64/0.68)	<0.01
Accuracy in free throws	0.17 ((0.14/0.20)	0.02
Defensive rebounds	0.39 (0.36/0.42)	<0.01
Total rebounds	0.31 (0.29/0.34)	<0.01
Assists	0.59 (0.57/0.61)	<0.01
Steals	0.30 (0.27/0.33)	<0.01
Turnovers	-0.37 (-0.40/-0.34)	<0.01
Blocks committed	0.34 (0.31/0.37)	<0.01
Blocks received	-0.44 (-0.47/-0.41)	<0.01
Dunks	0.40 (0.37/0.43)	<0.01

95% CI = 95% confidence interval for the correlation.

The multiple regression analysis that better explained the number of wins during the regular season included: accuracy in free throws and 2- and 3-point field goals (%), offensive and defensive rebounds, assists, steals, turnovers and received blocks. This regression analysis explained the 76.1% ( $r^2$  adjusted) of the total variance in the number of wins ( $P < 0.001$ ) as follows:

$$\text{Number of wins} = -99.8 + (0.434 \times 3\text{apfg}) + (0.613 \times 2\text{apfg}) + (0.326 \times \text{aFT}) + (0.036 \times \text{OR}) + (0.044 \times \text{DR}) + (0.014 \times \text{A}) + (0.038 \times \text{S}) + (-0.028 \times \text{T}) + (-0.060 \times \text{RB})$$

where 3apfg = accuracy in 3- point field goals; 2apfg = accuracy in 2- point field goals; aFT = accuracy in free throws; OR = offensive rebounds; DR = defensive rebounds; A = assists; S = steals; T = turnovers and RB = received blocks.

Figure 1 depicts the variance in the number of wins during the regular season explained for each variable included in the regression analysis. The number of wins depended on the success in precision indicators (free throws and 2- and 3-point field goals, 26% of variance explained), the total number of rebounds (defensive and offensive, 23%), the number of steals (9%), turnovers (7%), assists (6%) and the number of received blocks (6%). To test the accuracy of this predictive model based on the results from 2003-to-2013, we have compared the real and predicted numbers of wins for the 2013-14 and 2014-15 seasons. Interestingly, the correlations for the real-predicted number of wins were 0.94 ( $P < 0.001$ ) for 2013-14 and 0.81 ( $P < 0.001$ ) for 2014-15 (Figure 2). Besides, the intraclass correlation coefficients were 0.95 and 0.88 for these two regular seasons, respectively.

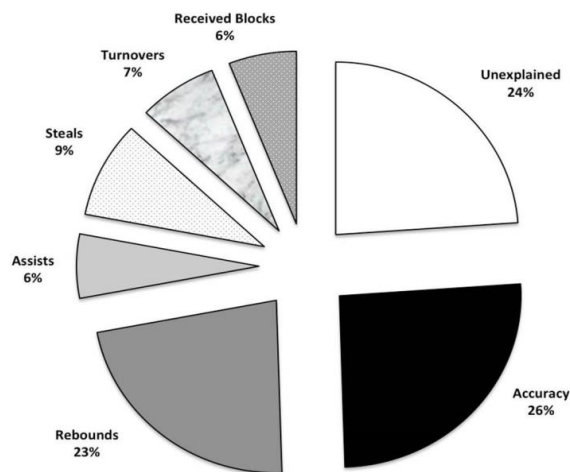


Figure 1. Percentage of the total of variance in the number of wins during a basketball regular season explained by each game performance indicator

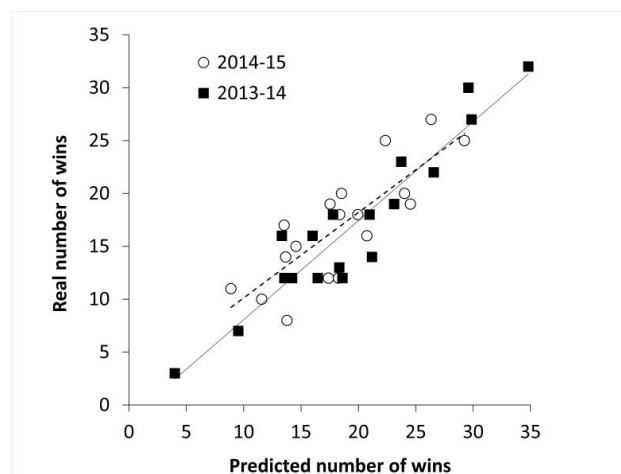


Figure 2. Correlation between real and predicted number of wins for the 2013-14 and 2014-15 seasons.

Table 2. Game performance indicators of the teams qualified for the playoffs, teams not qualified for the playoffs (No playoffs) and the bottom two teams (Lost category) at the end of the regular season. Data are mean  $\pm$  SD for 10 ACB regular seasons (2003-2013).

<i>Game performance indicators (part I)</i>	<b>Playoffs</b>	<b>No playoffs</b>	<b>Lost category</b>	<b>Playoffs vs No playoffs</b>	<b>Playoffs vs Lost category</b>	<b>No Playoffs vs Lost category</b>
Points in favour	2712 $\pm$ 134*	2597 $\pm$ 125	2527 $\pm$ 115	115.3 (67/163); d=0.89	185.6 (109.8/261.4) d=1.42	70.3 (-5.5/146.1) d=0.57
Points received	2552 $\pm$ 121*	2696 $\pm$ 127#	2775 $\pm$ 126	-114.2 (-191/-98) d=-1.16	-223.8 (-297/-150) d=-1.83	-79.6 (-153/-6) d=-0.63
3-point field goals made	263 $\pm$ 29*	246 $\pm$ 34	227 $\pm$ 38	17.4 (5.4/29.5) d=0.55	36.2 (17.1/55.2) d=1.18	18.7 (-0.4/37.8) d=0.54
3-point field goals attempted	719 $\pm$ 75	698 $\pm$ 82	679 $\pm$ 98	20.9 (-9.3/51.1) d=0.27	39.4 (-8.3/87.2) d=0.50	18.5 (-29.3/66.3) d=0.22
Accuracy in 3-point field goals (%)	36.7 $\pm$ 2.4*	35.2 $\pm$ 2.6#	33.4 $\pm$ 2.8	1.5 (0.6/2.4) d=0.60	3.3 (1.8/4.8) d=1.33	1.8 (0.3/3.3) d=0.70



<i>Game performance indicators (part II)</i>	<b>Playoffs</b>	<b>No playoffs</b>	<b>Lost category</b>	<b>Playoffs vs No playoffs</b>	<b>Playoffs vs Lost category</b>	<b>No Playoffs vs Lost category</b>
2-point field goals made	704±61β	671±60	671±54	32.6 (10.3/56.0) d=0.54	33.4 (-2.0/68.7) d=0.56	0.8 (-34.6/36.1) d=0.01
2-point field goals attempted	1328±104	1330±109	1380±107	-2.1 (-42.0/37.9) d=-0.02	-51.7 (-114.8/11.5) d=-0.49	-49.6 (-112.8/13.6) d=-0.46
Accuracy in 2-point field goals (%)	53.0±2.5*	50.4±2.0#	48.6±1.7	2.6 (1.8/3.4) d=1.19	4.4 (3.1/5.8) d=1.83	1.8 (0.5/3.2) d=0.93
Free throws made	518±67	515±68	504±69	3.1 (-22.2/28.3) d=0.05	13.6 (-26.3/53.5) d=0.20	10.6 (-29.4/50.5) d=0.15
Free throws attempted	692±91	689±89	692±100	3.3 (-30.8/37.3) d=0.04	-0.6 (-54.5/53.2) d=-0.01	-3.9 (-57.8/50.0) d=-0.04
Accuracy in free throws (%)	75.0±3.4#	74.9±2.9#	72.9±3.6	0.1 (-1.1/1.3) d=0.04	2.1 (0.2/9.8) d=0.61	2.0 (0.1/3.9) d=0.63
Offensive rebounds	361±46	351±37	368±36	10.0 (-5.4/25.4) d=0.24	-7.3 (-31.6/17.0) d=0.16	-17.3 (-41.6/7.0) d=0.47

<i>Game performance indicators (part III)</i>	<b>Playoffs</b>	<b>No playoffs</b>	<b>Lost category</b>	<b>Playoffs vs No playoffs</b>	<b>Playoffs vs Lost category</b>	<b>No Playoffs vs Lost category</b>
Defensive rebounds	783±46*	762±39	742±36	21.1 (5.3/37.0) d=0.49	40.7 (15.7/65.8) d=0.91	19.6 (-5.4/44.6) d=0.51
Total rebounds	1144±57*	1113±51	1111±55	31.1 (10.9/51.4) d=0.58	33.5 (1.5/65.4) d=0.59	2.3 (-29.6/34.3) d=0.05
Assists	484±54*	425±50#	393±37	59.2 (40.2/78.1) d=1.14	91.3 (61.4/121.2) d=1.78	32.1 (2.2/62.0) d=0.67
Steals	288±42β	267±31	269±29	21.9 (8.3/35.5) d=0.59	19.2 (-2.3/40.7) d=0.48	-2.8 (-24.3/18.8) d=-0.09
Turnovers	461±38*	482±32	490±40	-20.4 (-33.8/-7.1) d=-0.58	-28.4 (-49.5/-7.2) d=-0.73	-7.9 (-29.1/13.2) d=-0.24
Blocks committed	99±23*	88±19	86±15	10.5 (2.9/18.1) d=0.50	13.0 (0.9/25.1) d=0.61	2.5 (-9.6/14.6) d=0.14

<i>Game performance indicators (part IV)</i>	<b>Playoffs</b>	<b>No playoffs</b>	<b>Lost category</b>	<b>Playoffs vs No playoffs</b>	<b>Playoffs vs Lost category</b>	<b>No Playoffs vs Lost category</b>
Blocks received	86±12*	98±15	103±18	-12.1 (-17.5/-6.7) d=-0.87	-17.1 (-25.5/-8.6) d=-1.24	-5.0 (-13.5/3.5) d=-0.31
Dunks	71±25*	54±20	48±20	16.9 (8.5/25.3) d=0.74	22.7 (9.4/36.0) d=0.95	5.9 (-7.4/19.1) d=0.29
Fouls committed	735±56	737±53	755±60	-2.0 (-22.7/18.6) d=-0.04	-20.5 (-53.2/12.1) d=-0.36	-18.5 (-51.1/14.2) d=-0.34
Fouls received	738±52	738±52	735±52	0.6 (-18.9/19.6) d=0.01	4.1 (-26.6/34.8) d=0.08	3.6 (-27.1/34.2) d=0.07

(\*) Different from the teams not qualified for the play-offs and the teams that lost category; (#) Different from the teams that lost category; (β) Different from the teams not qualified for the playoffs. For all the mean differences between groups, the 95% confidence interval and the effect size (d) were calculated.

Table 2 shows the differences in game-related statistics among the eight first teams qualified, the following eight qualified and the last two teams qualified (that lost category) at the end of the regular season. The teams qualified for the playoffs obtained higher values of points in favour, 3-point field goals made and accuracy, accuracy in 2-point field goals, the number of rebounds and defensive rebounds, the number of assists, the number of committed blocks and dunks than the remaining teams ( $P < 0.05$ ). Interestingly, the higher size effects were obtained for 2- and 3-point field goals accuracy. Besides, the teams qualified for the playoffs obtained significantly lower values for points received, the number of blocks received and turnovers than the remaining teams ( $P < 0.05$ ). The number of points received, the accuracy in free throws and 2- and 3-point field goals and the number of assists were also different between teams not qualified for playoffs and the teams that lost category ( $P < 0.05$ ).

#### 4. Discussion

The main goal of the present study was to identify basketball game performance indicators which best explain the total number of wins during the Spanish National Basketball League (ACB). Previous investigations have analyzed game performance indicators in winning and losing teams during one season or a short-duration tournament (Ibáñez, Sampaio, Sáenz-López, Giménez, and Janeira, 2003; Ibáñez et al., 2009; Mikolajec et al., 2013). However, the inclusion of accumulated statistics during a higher number of seasons could help to provide a more reliable identification of game indicators that determine basketball success.

The present study included 10 regular seasons played in the Spanish professional basketball league. In each season competed a total of 18 teams, and a total of 3,060 official games were analyzed. Data from the correlation analysis indicate that accuracy in 2- point field goals and the number of assists were the variables with a higher association to the number of wins during the regular season (Table 1). Interestingly, these same game indicators have been repeatedly found as key variables to differentiate between winning and losing teams in a variety of basketball context (Gómez et al., 2008; Ibáñez et al., 2003; Ibáñez et al., 2009; Sampaio et al., 2004). The number of assists and precision in 2- point field goals are the best game indicators to assess the offensive efficiency of a basketball team, showing that the best teams are the ones with the best offensive discipline (Gómez, Lorenzo, Ortega, Sampaio, and Ibáñez, 2009).

In basketball, overall accuracy in field goals is a relevant factor to win a game (Malarranha et al., 2013). In particular, 2- point field goals are the most habitual type of shooting and an improvement in the accuracy in this game action can represent a meaningful advantage for the win during basketball games, especially in unbalanced games (García et al., 2014). The relationship between accuracy in 2-point field goals and the ranking during a basketball regular season also explains why the training of this game action has been deemed as a basic training strategy to improve overall basketball performance (Bogdanis, Ziagos, Anastasiadis, and Maridaki, 2007; Gómez et al., 2008). Other investigations have suggested that the accuracy in free throws or free throw made are also good indicators of success in men's basketball teams (Csataljay et al., 2009; Kozar, Vaughn, Lord, and Whitfield, 1994; Sampaio and Janeira, 2003), but the correlation to the number of wins during in the present investigation was moderate (Table 1).

A higher number of assists and a lower number of turnovers are good indicators to determine team's maturity (reading the opposing defense to act in consequence passing the ball to a teammate) and it explains the teamwork, coordination, anticipation and timing on court (García et al., 2013). Some studies showed that having a higher level of physical fitness contributes to better decision-making in the game (Royal et al., 2006) allowing maintenance of accuracy and performance level in the passing skill (Lyons, Al-Nakeeb, and Nevill, 2006). In fact, this correlation analysis suggests that basketball teams with a higher number of assists are also the ones with a lower number of turnovers (see Table 1 and Table 2).

Other game performance indicators also obtained high correlation values to the number of wins during the regular season, such as points in favour and points received. Despite the difference in score at the end of the game is the only criterion to determine which team wins the game, the number of points in favour and points received presented correlations < 0.60. Other offensive game indicators such as accuracy in 3-point field goals, the number of blocks received and the number of dunks correlated to the number of wins with values between 0.4 and 0.5 while defensive game indicators such as defensive rebounds and steals obtained correlations between 0.3 and 0.4. All this information suggests that basketball teams exclusively characterized by offensive or defensive tactical strategies are not the more successful basketball teams. Although offensive game actions are more correlated to the winning teams, it is likely that a balance between offensive and defensive tactics is the most successful basketball strategy.

Figure 1 shows the statistical explanation for the variance found in the number of wins during the regular season, based on the multiple regression analysis. Shooting accuracy (accounting for 2-point, 3-point and free throws) explained 26% of the total variance while the number of rebounds (including offensive and defensive rebounds) explained 23% of the total variance. Steals, turnovers, assists and received blocks individually explained < 10% of the variance. Despite including numerous game indicators in this analysis, a 24% of the variance corresponded to variables do not directly related to game-related statistics. This analysis confirms the complexity of basketball success because winning depends on the sum of different physical, technical and tactical variables as well as psychological and environmental factors (Wilson, Vine, and Wood, 2009).

By analyzing the rankings of 10 regular seasons we found that the teams qualified for the playoffs had a significantly higher number of points in favour, 2- and 3-point field goals accuracy, total and defensive rebounds, number of assists, blocks committed and dunks than the remaining teams. Besides, the teams qualified for the playoffs had a lower number of points received, turnovers and blocks received than the remaining teams. The results of this analysis agree with the outcomes of the correlation and multiple regression analysis (Table 1 and Figure 1) because shooting accuracy, the number of assists and points in favour are among the most crucial variables to discriminate between successful and unsuccessful teams during a regular season. Apart from the previously commented game-related statistics, several investigations have determined that winning teams' success is strongly related to defensive rebounds (Csataljay et al., 2009; Gómez et al., 2008; Sampaio et al., 2006; Trninić, Dizdar, and Luksić, 2002). According to this idea, a better defensive level forces the opposing team to shoot hastily decreasing then shot accuracy and favoring the likelihood of obtaining defensive rebounds (Trninić et al., 2002). Interestingly, offensive rebounds were not higher in basketball teams qualified for the playoffs (Table 2) as it might be expected by a higher accuracy in 2- and 3- point field goals.

## 5. Conclusion

In summary, basketball success during a regular season of a professional league is complex because it depends on the accomplishment of numerous game actions. Main indicators of winning are related to offensive actions such as accuracy in 2-point field goals and the number of assists while defensive actions such as defensive rebounds and steals were less correlated to the number of wins during the regular season. Qualifying for the playoffs or being demoted to a lower category depended on accuracy in 2-and 3-point field goals, the number of assists and points received. In elite basketball, 2-and 3-point field goals are typically trained during warm-ups or recovery periods with specific exercises. Besides, most of these shooting routines are performed without the opposition of an adversary. The results obtained in this investigation strongly suggests that basketball coaches should design training programs that include specific shooting tasks –with and without opposition to simulate game situations- to improve shooting accuracy and overall basketball performance.

## 6. Practical application

Basketball coaches may benefit from being aware of game performance indicators related to the win to establish objective goals in basketball practices. For example:

- Shooting training to improve the accuracy in free throw and 2- and 3-point field goals.
- Specific training routines to improve offensive strategies by working timing, coordination, anticipation and teamwork in the court in order to increase the number of assists and to achieve higher accuracy in shooting.
- Giving importance to the defense training to receive less points of the opponent team by simulating defensive rebound actions
- Increasing the players' physical fitness to confront to the offensive and defensive strategies.

## 7. References

- Bogdanis, G.C., Ziagos, V., Anastasiadis, M., and Maridaki, M. (2007). Effects of two different short-term training programs on the physical and technical abilities of adolescent basketball players. **Journal of Science and Medicine in Sport**, 10(2), 79-88.
- Cohen, J. (1998). **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Csataljay, G., O'Donoghue, P., Hughes, M., and Dancs, H. (2009). Performance indicators that distinguish winning and losing teams in basketball. **International Journal of Performance Analysis in Sport**, 9(1), 60-66.
- García, J., Ibáñez, S., Martínez De Santos, R., Leite, N., and Sampaio, J. (2013). Identifying basketball performance indicators in regular season and playoff games. **Journal of Human Kinetics**, 36, 161-168.
- García, J., Ibáñez, S.J., Gómez, M.A., and Sampaio, J. (2014). Basketball game-related statistics discriminating ACB league teams according to game location, game outcome and final score differences. **International Journal of Performance Analysis in Sport**, 14(2), 443-452.
- Gómez, M.A., Tsamourtzis, E., and Lorenzo, A. (2006). Defensive systems in basketball ball possessions. **International Journal of Performance Analysis in Sport**, 6(1), 98-107.
- Gómez, M.A., Lorenzo, A., Sampaio, J., Ibáñez, S.J., and Ortega, E. (2008). Game-related statistics that discriminated winning and losing teams from the Spanish men's professional basketball teams. **Collegium Antropologicum**, 32(2), 451-456.
- Gómez, M.A., Lorenzo, A., Ortega, E., Sampaio, J., and Ibáñez, S.J. (2009). Game related statistics discriminating between starters and nonstarters players in Women National Basketball Association League (WNBA). **Journal of Sports Science and Medicine**, 88(2), 278-283.
- Gómez, M.A., Battaglia, O., Lorenzo, A., Lorenzo, J., Jiménez, S., and Sampaio, J. (2015). Effectiveness during ball screens in elite basketball games. **Journal of Sports Sciences**, 1-9.
- Hughes, M., and Franks, I. (2004). **Notational analysis of sport systems for better coaching and performance in sport**. London: Routledge.
- Ibáñez, S., Sampaio, J., Sáenz-López, P., Giménez, J., and Janeira, M. (2003). Game statistics discriminating the final outcome of junior world basketball championship matches. **Journal of Human Movement Studies**, 74, 1-19.
- Ibáñez, S., García, J., Feu, S., Lorenzo, A., and Sampaio, J. (2009). Effects of consecutive basketball games on the game-related statistics that discriminate winner and losing teams. **Journal of Sports Sciences**, 8(3), 458-462.
- Kozar, B., Vaughn, R., Lord, R., and Whitfield, K. (1994). Importance of free-throws at various stages of basketball games. **Perceptual and Motor Skills**, 78, 243-248.
- Leite, N., Baker, J., and Sampaio, J. (2009). Paths to expertise in Portuguese national team athletes. **Journal of Sports Science and Medicine**, 8(4), 560-566.
- Lorenzo, A., Gómez, M.A., Ortega, E., Ibáñez, S., and Sampaio, J. (2010). Game related statistics which discriminate between winning and losing under-16 male basketball games. **Journal of Sports Science and Medicine**, 9, 664-668.
- Lyons, M., Al-Nakeeb, Y., and Nevill, A. (2006). The impact of moderate and high intensity total body fatigue on passing accuracy in expert and novice basketball players. **Journal of Sports Science and Medicine**, 5(2), 215-222.

- Malarranha, J., Figueira, B., Leite, N., and Sampaio, J. (2013). Dynamic Modeling of Performance in Basketball. **International Journal of Performance Analysis in Sport**, 13(2), 377-387.
- Mikolajec, K., Maszczyk, A., and Zajac, T. (2013). Game indicators determining sports performance in the NBA. **Journal of Human Kinetics**, 37, 145-151.
- Oliver, D. (2004). **Basketball on paper. Rules and tools for performance analysis**. Washington, D.C.
- Ortega, E., Villarejo, D., and Palao, J. (2009). Differences in game statistics between winning and losing rugby teams in the six nations tournament. **Journal of Sports Science and Medicine**, 8(4), 523-527.
- Royal, K., Farrow, D., Mujika, I., Halson, S., Pyne, D., and Abernethy, B. (2006). The effects of fatigue on decision making and shooting skill performance in waterpolo players. **Journal of Sports Sciences**, 24(8), 807-815.
- Sampaio, J., and Janeira, M. (2003). Statistical analyses of basketball team performance: understanding teams' wins and losses according to a different index of ball possessions. **International Journal of Performance Analysis in Sport**, 3, 40-49.
- Sampaio, J., Godoy, S.I., and Feu, S. (2004). Discriminative power of basketball game-related statistics by level of competition and sex. **Perceptual and Motor Skills**, 99(3 Pt 2), 1231-1238.
- Sampaio, J., Ibáñez, S., Lorenzo, A., and Gómez, M.A. (2006). Discriminative game related statistics between basketball starters and nonstarters when related to team quality and game outcome. **Perceptual and Motor Skills**, 103(2), 486-494.
- Spanish Basketball Clubs Association website. (2014). <http://www.acb.com/stsacum.php>. Accessed by 1 March 2014
- Trninić, S., Dizdar, D., and Luksić, E. (2002). Differences between winning and defeated top quality basketball teams in final tournaments of European club championship. **Collegium Antropologicum**, 26(2), 521-531.
- Wilson, M.R., Vine, S.J., and Wood, G. (2009). The influence of anxiety on visual attentional control in basketball free throw shooting. **Journal of Sport and Exercise Psychology**, 31(2), 152-168.

**Address for correspondence:**

Javier Abián-Vicén  
 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](mailto:javier.abian@uclm.es)



## **ANEXO 3**

---

A caffeinated energy drink improves jump performance in adolescent basketball players.



# A caffeinated energy drink improves jump performance in adolescent basketball players

Javier Abian-Vicen · Carlos Puente · Juan José Salinero ·  
Cristina González-Millán · Francisco Areces · Gloria Muñoz ·  
Jesús Muñoz-Guerra · Juan Del Coso

Received: 4 July 2013 / Accepted: 18 February 2014  
© Springer-Verlag Wien 2014

**Abstract** This study aimed at investigating the effects of a commercially available energy drink on shooting precision, jump performance and endurance capacity in young basketball players. Sixteen young basketball players (first division of a junior national league;  $14.9 \pm 0.8$  years;  $73.4 \pm 12.4$  kg;  $182.3 \pm 6.5$  cm) volunteered to participate in the research. They ingested either (a) an energy drink that contained 3 mg of caffeine per kg of body weight or (b) a placebo energy drink with the same appearance and taste. After 60 min for caffeine absorption, they performed free throw shooting and three-point shooting tests. After that, participants performed a maximal countermovement jump (CMJ), a repeated maximal jumps test for 15 s (RJ-15), and the Yo-Yo intermittent recovery test level 1 (Yo-Yo IR1). Urine samples were obtained before and 30 min after testing. In comparison to the placebo, the ingestion of the caffeinated energy drink did not affect precision during the free throws (Caffeine =  $70.7 \pm 11.8$  % vs placebo =  $70.3 \pm 11.0$  %;  $P = 0.45$ ), the three-point shooting test ( $39.9 \pm 11.8$  vs  $38.1 \pm 12.8$  %;  $P = 0.33$ ) or the distance covered in the Yo-Yo IR1 ( $2,000 \pm 706$  vs  $1,925 \pm 702$  m;  $P = 0.19$ ).

However, the energy drink significantly increased jump height during the CMJ ( $38.3 \pm 4.4$  vs  $37.5 \pm 4.4$  cm;  $P < 0.05$ ) mean jump height during the RJ-15 ( $30.2 \pm 3.6$  vs  $28.8 \pm 3.4$  cm;  $P < 0.05$ ) and the excretion of urinary caffeine ( $1.2 \pm 0.7$  vs  $0.1 \pm 0.1$   $\mu\text{g/mL}$ ;  $P < 0.05$ ). The intake of a caffeine-containing energy drink (3 mg/kg body weight) increased jump performance although it did not affect basketball shooting precision.

**Keywords** Ergogenic aids · Caffeine · Basketball · Jump performance · Free throw · Technique

## Introduction

Basketball is a team sport characterized by intermittent bouts of high-intensity activity repeated over a prolonged period of time (4 quarters of 10 or 12 min depending on whether it is international or an NBA match). Basketball requires the execution of complex sport-specific skills such as jumping (for rebounds, blocks), shooting, dribbling and sprinting (Klusemann et al. 2012) and these actions mostly rely on anaerobic pathways (Hoffman et al. 1996). Elite young basketball players spend 15–16 % of the total time of a match engaged in high-intensity actions (Abdelkrim et al. 2007) while the remaining time is spent in low-intensity activities (walking and jogging) and stoppages to recover between bouts of activity (Drinkwater et al. 2008). Moreover, the high-intensity movements of young basketball players are closely related to the development of strength, speed and agility (Castagna et al. 2008a). During a basketball game, elite young basketball players perform on average  $44 \pm 7$  jumps and sprint activities represent 8.8 % of live time (Abdelkrim et al. 2007). In addition, a total of  $105 \pm 52$  high-intensity runs with a mean duration

---

J. Abian-Vicen (✉) · J. J. Salinero · C. González-Millán ·  
F. Areces · J. Del Coso  
Exercise Physiology Laboratory, Sport Science Institute, Camilo  
José Cela University, C/Castillo de Alarcon, 49. Villafranca del  
Castillo, 28692 Madrid, Spain  
e-mail: jabian@ucjc.edu

C. Puente  
Exercise Training Laboratory, University of Castilla-La Mancha,  
Toledo, Spain

G. Muñoz · J. Muñoz-Guerra  
Spanish Anti-doping Agency, Doping Control Laboratory,  
Madrid, Spain

of 1.7 s have been reported for elite male basketball players during competition, resulting in one high-intensity run every 21 s of live time (McInnes et al. 1995).

In addition to conditioning components, basketball performance depends on technical skills with the ball, especially precision during shooting (Zuzik 2011). From all the types of shooting during the course of a game, free throw shooting has been extensively studied because precision in this type of throw is key to influencing the outcome of a basketball match (Zuzik 2011). Previously, it has been determined that specific training, the technique of shooting, the player's psychological stability, motivation and environmental conditions are decisive for free throw precision (Button et al. 2003). In addition, progressive dehydration has been found to negatively affect basketball-specific skills that included shooting precision (3-point, free-throw shots) (Baker et al. 2007; Dougherty et al. 2006). However, it is unknown if nutritional supplementation, apart from proper rehydration, could modify shooting precision during basketball specific test.

A recent study has shown that three out of four elite athletes consume caffeine or caffeine-containing products before competition, based on the post-exercise urinary caffeine concentrations obtained for doping analysis (Del Coso et al. 2011). Regarding basketball players, mean urinary excretion after competition was  $\approx 1 \mu\text{g/mL}$ , indicating that caffeine intake in this sport is moderate. The current popularity of caffeine in sports is associated with the increase in popularity of caffeine-containing energy drinks (Hoffman 2010) and with the removal of this substance from the list of prohibited substances in 2004 [World Anti-doping Web Site (Internet). Montreal (Canada): World Anti-doping Agency]. Several studies have confirmed the ergogenicity of 3–6 mg caffeine/kg bw (body weight) on physical performance in different individual and team sports (Stuart et al. 2005; Del Coso et al. 2012a), but the information about the effects of caffeine ingestion on basketball specific skills is scarce. A recent study has found that 3 mg caffeine/kg bw did not improve  $\text{VO}_{2\text{max}}$  during a maximal running test or height during a 10 vertical jumps test performed by male basketball players (Tucker et al. 2013). However, this study included a limited sample (5 participants) and the performance tests were not completely specific for basketball.

Thus, although the ability to perform repeated jumps and precision during shooting is essential for basketball players, the effects of caffeine ingestion on basketball specific drills have not been previously investigated. The aim of the present investigation was to determine the effectiveness of a commercially available caffeine-containing energy drink (3 mg caffeine/kg bw) for improving specific skills and conditional capacities of basketball players.

## Methods

### Subjects

Sixteen young male basketball players volunteered to participate in this study. All of them were members of a junior basketball team playing in the first division of the National Spanish League. They had a mean  $\pm$  SD age of  $14.9 \pm 0.8$  years, body mass of  $73.4 \pm 12.4$  kg, height of  $182.3 \pm 6.5$  cm and body fat of  $17.6 \pm 3.1$  %. All participants had previous basketball experience of at least 6 years and had trained for  $12.0 \pm 0.4$  h/week during the previous year. No participant had a previous history of cardiopulmonary disease or was taking medications during the study. Participants underwent a physical examination prior to enrolling in the study and they were light caffeine consumers ( $<60$  mg/day,  $\approx 1$  cup of coffee). Each participant and his parent/guardian were informed of the experimental procedures and associated risks of the investigation and an informed consent was signed by the both of them. The study was approved by a local Research Ethics Committee in accordance with the latest version of the declaration of Helsinki.

### Experimental design

A double-blind and placebo-controlled experimental design with repeated measures was used in this study. Each player performed two experimental trials under the same experimental conditions (indoor facility at  $22.0 \pm 0.8$  °C of dry temperature;  $28.8 \pm 1.0$  % of relative humidity). On one occasion, participants ingested a powdered caffeine-containing energy drink (Fure, ProEnergetics, Spain) dissolved in 250 mL of tap water. The amount of energy drink was set to individually provide 3 mg of caffeine per kg of body weight. On the other occasion, participants ingested the same energy drink but with no caffeine content (0 mg caffeine/kg bw, placebo). At the request of the experimenters, the placebo drink was provided by the manufacturer and had the identical appearance and taste of the caffeine-containing energy drink. The energy drink formulae included 18.7 mg taurine/kg bw, 4.7 mg sodium bicarbonate/kg bw, 1.9 mg L-carnitine/kg bw and 6.6 mg maltodextrin/kg bw, but these substances were ingested in identical proportions in the two experimental trials. The trials differed only in the amount of caffeine administered to each player ( $220.2 \pm 37.1$  mg in the energy drink trial vs 0 mg in the placebo trial). The beverages were ingested 60 min before the start of the experimental trials to allow complete caffeine absorption and they were provided in opaque plastic bottles to avoid identification. The order of the experimental trials was counterbalanced (8 players consumed caffeine and 8 players consumed placebo prior

to each experimental trial) and randomized. The experimental trials were separated by 1 week to allow complete caffeine wash-out. An alphanumeric code was assigned to each trial to blind participants and investigators to the drink tested. This code was unveiled after the analysis of the variables.

#### Experimental protocol

Two days before the experimental trials, participants were nude-weighed to calculate the energy drink dosage. On this day, their body fat percentage was also calculated using a bio-impedance scale (model BC-418 Tanita Co., Tokyo, Japan). The day before each experimental trial, participants refrained from strenuous exercise and adopted a similar diet and fluid intake regimen. Participants were encouraged to refrain from all dietary sources of caffeine (coffee, cola drinks, chocolate, etc.) and alcohol for 48 h before testing. These standardizations were reported to the technical staff of the basketball team to ensure compliance.

On the day of testing, participants arrived at the basketball court 75 min before the beginning of the trial. On arrival, participants voided in a sterilized container and a representative sample was immediately frozen at  $-30^{\circ}\text{C}$  for future analysis. Then, the beverage assigned for the trial was individually supplied and consumed 60 min before the tests. Investigators paid attention to players during the drinking process to avoid the exchange of bottles between players and to ensure that all of them drank the beverage in its entirety. After that, participants performed a standardized warm-up for 15 min consisting of continuous running and specific drills with the ball (dribbling and shooting). After the warm-up, participants performed five different tests on the basketball court (see test specifications below): During and after the testing, the participants had free access to tap water. Thirty-to-sixty minutes after the last test was performed, participants voided again and a urine sample was obtained. After that, participants were required to fill out a questionnaire about their sensations of muscle power, endurance and perceived exertion (RPE) during the whole testing day. This questionnaire included a 1- to 10-point scale to assess each item, and participants were previously informed that 1 point meant minimal amount of that item and 10 points meant maximal amount of the item. Then, participants were provided with a survey to be filled out the following morning about sleep quality, nervousness, gastrointestinal problems and other discomforts. This survey included eight items on a yes/no scale and has been previously used to assess side effects derived from energy drink ingestion (Del Coso et al. 2012b).

#### Free throw test (FT)

For this test, we followed the standards established by the International Basketball Federation (FIBA). The player took his place behind the free throw line (5.8 m from the base line and 4.6 m from the basket) and performed 12 series of two-free throws to replicate the shooting performed after a fault during a real game situation. Participants rested for 30 s between series and players had an adequate amount of time to concentrate on shooting. The number of shots scored (total and by series) was registered by an investigator blinded to the treatment. The between-days reproducibility of this test was previously obtained in 22 young male basketball players (similar skill level to the participants in this investigation) tested on two different days of the same week. The coefficient of variation was 7 % and the intraclass correlation coefficient was 0.85.

#### Three-point shot test (3PS)

This test was an adapted version of the one devised by Dougherty et al. (Dougherty et al. 2006). Participants performed three attempts at three-point shots from seven different places around the three-point line (6.25 m from the base line), for a total of 21 shots. Players had to move from one position to the other and the total number of shots had to be performed in 1 min or less. The players picked the ball up from a cart to perform the test in a continuous mode. The number of three-point shots scored in the test was registered by an investigator blinded to the treatment. As in the previous test, the between-days reproducibility was previously obtained in 22 young male basketball players tested on two different days of the same week. The coefficient of variation was 12.3 % and the intraclass correlation coefficient was 0.74.

#### Counter movement jump test (CMJ)

Participants performed two maximal countermovement jumps on a force platform (Quattrojump, Kistler, Switzerland; sampling rate of 500 Hz) to assess jump height and leg muscle power production. For this measurement, participants began stationary in an upright position with their weight evenly distributed over both feet. Each participant placed his hands on his waist in order to remove the influence of the arms on the jump. On command, the participant flexed his knees and jumped as high as possible while maintaining his hands on the waist and landed with both feet. After 1 min rest, the countermovement jump was repeated. The jump height (from flight time), the mean power production during the concentric phase of the jump and the peak power output of the jump were obtained from ground reaction forces. A previous investigation has found

that the between-days reliability of all the variables obtained during a CMJ was high and the coefficient of variation  $< 2\%$  (Cormack et al. 2008).

#### Fifteen-second maximal jumping test (RJ-15)

Maximal vertical jumping height was determined during a 15-s rebound jump series using the force platform previously described. For this test, participants began stationary in an upright position with their weight evenly distributed over both feet. Each subject placed his hands on his waist to remove the influence of the arms on the jump. On command, the participants flexed their knees and jumped as high as possible while maintaining their hands on their waist, repeating this jumping action for 15 s. Verbal feedback was given to encourage players to produce maximal performance in each repetition. The height and the mean power production during the concentric phase of each jump were obtained. Total leg muscle power production during the test was calculated from the power output obtained in each jump and the number of jumps. Between-days reliability for the variables obtained during repeated CMJ has been satisfactory in a previous study (Cormack et al. 2008).

#### The Yo-yo intermittent recovery test, level 1 (Yo-Yo IR1)

This test was carried out according to previously described methods (Castagna et al. 2008b; Krstrup et al. 2003). The test consisted of 20-m shuttle runs performed at increasing velocities with 10 s of active recovery between runs until exhaustion. The end of the test was considered when the participant twice failed to reach the front line in time (objective evaluation) or when he felt unable to complete another shuttle run at the dictated speed (subjective evaluation). The total distance covered during the Yo-Yo IR1 was recorded. The test was always performed on the same basketball court where players usually trained. The coefficient of variation for this test has been previously established in 4.9 % (Krustup et al. 2003).

#### Urine analysis

The urine specimens obtained before and after each experimental trial were analyzed for caffeine, paraxanthine, theobromine and theophylline concentrations using an Agilent Technologies HPLC 1200 system (Santa Clara, CA, US) coupled to a triple quadrupole/ion trap mass spectrometer (MS, API 400, US). All the reagents used for these measurements were purchased from Cambridge Isotope Laboratories (Spain). For this measurement, 20  $\mu\text{L}$  of the internal standard theophylline- $\text{D}_6$  (2  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) and 20  $\mu\text{L}$

of the internal standard  $^{13}\text{C}_3$ -caffeine (5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) were added to 100  $\mu\text{L}$  of urine. A volume of 900  $\mu\text{L}$  of mobile phase (acetic acid 0.1 %) was added to the urine sample and 5  $\mu\text{L}$  of this sample was then directly applied to the HPLC-MS system. To calibrate the system, aqueous solutions of caffeine, paraxanthine and theobromine (ranging from 0.1 to 7  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) and theophylline (from 0.04 to 1  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) were used before each batch of samples. The correlation coefficients for the calibration of caffeine and its main metabolites were always  $> 0.99$ . The lower limit for the accurate quantization of these methylxanthines was 0.25 and 0.1  $\mu\text{g}/\text{mL}$  for theophylline.

#### Statistical analysis

The following software programs were used: Microsoft Excel spreadsheet (Microsoft, Spain) to store the results and the SPSS v. 17.0 program (SPSS Inc., USA) to perform the statistical calculations using descriptive and inferential statistical tests and to calculate means, standard deviations and ranges. 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 variables normally distributed between the caffeine-containing energy drink trial and the placebo trial. For the non-parametric variables, differences between the energy drink trial and the placebo trial were established with the Wilcoxon signed-rank test. Jump height and leg muscle power output during the 15-s jump test were analyzed using a two-way ANOVA (beverage  $\times$  repetition) with repeated measures. The criterion for statistical significance was set at  $P < 0.05$ . All the data are presented as mean  $\pm$  standard deviation.

## Results

### Shooting tests

In comparison to the placebo, the ingestion of the caffeine-containing energy drink did not increase the total number of free throws scored ( $P = 0.45$ ). In addition, the energy drink did not affect the precision of the first 12 throws ( $P = 0.31$ ) or the last 12 throws ( $P = 0.15$ ; Table 1). Similarly, the ingestion of the energy drink did not increase precision during the three-point shooting test ( $P = 0.33$ ), either in the first 10 throws ( $P = 0.39$ ) or in the last 11 throws ( $P = 0.20$ ; Table 1).

### CMJ test

In comparison to the placebo drink, the intake of the caffeine-containing energy drink increased CMJ height from

37.5 ± 4.4 to 38.3 ± 4.4 cm ( $P < 0.05$ ). There were no significant differences between the caffeine-containing energy drink and the placebo drink in mean power production during the concentric phase of the jump (caffeine = 30.4 ± 2.8 W/kg vs placebo = 30.1 ± 3.5 W/kg;  $P = 0.32$ ) or peak power output (caffeine = 53.9 ± 5.0 W/kg vs placebo = 53.8 ± 5.5 W/kg;  $P = 0.45$ ).

#### RJ-15

During the 15-s jump series, the basketball players reached a higher mean jump height with the intake of the energy drink than with the placebo (caffeine = 30.2 ± 3.6 cm vs placebo = 28.8 ± 3.4 cm;  $P < 0.05$ ). This difference was also significant when comparing the first four jumps ( $P < 0.05$ ; Fig. 1). After the ingestion of the energy drink, the basketball players produced higher mean leg muscle power output (caffeine = 51.4 ± 5.7 W/kg vs placebo = 49.4 ± 4.6 W/kg;  $P < 0.05$ ) and thus higher total leg muscle power production during the entire test

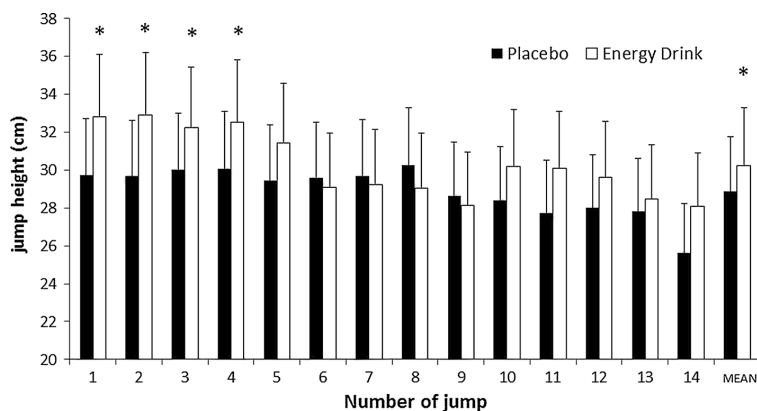
**Table 1** Percentages of free throws (FT) and three-point shots (3PS) scored with the ingestion of a caffeine-containing energy drink or a placebo drink

	Placebo	Energy drink	<i>P</i>
FT, %	70.7 ± 11.8	70.3 ± 11.0	0.451
FT, % (first 12 shots)	62.5 ± 14.6	65.6 ± 18.5	0.314
FT, % (last 12 shots)	78.1 ± 14.8 <sup>†</sup>	76.0 ± 17.5 <sup>†</sup>	0.153
3PS, %	39.9 ± 11.8	38.1 ± 12.8	0.334
3PS, % (first 10 shots)	38.7 ± 18.2	36.9 ± 21.8	0.390
3PS, % (last 11 shots)	41.2 ± 16.2	36.9 ± 14.5	0.201

Data are mean ± SD for 16 young basketball players

<sup>†</sup> Different from preceding 12 shots ( $P < 0.05$ )

**Fig. 1** Jump height for each jump and the mean of all jumps during a 15-s maximal jump series. (\* $P < 0.05$  compared to placebo)



(caffeine = 52.3 ± 13.5 kW vs placebo = 48.6 ± 9.5 kW;  $P < 0.05$ ).

#### Yo-Yo IR-1 test

There were no significant differences in the distance covered during the Yo-Yo IR-1 test between the trial with the caffeine-containing energy drink and the placebo trial (caffeine = 2,000 ± 706 m vs placebo = 1,925 ± 702 m;  $P = 0.19$ ).

#### Urine caffeine excretion and urinary variables

Pre-exercise urine samples presented low caffeine and paraxanthine concentrations and they were similar in both experimental trials (Table 1). After the caffeine-containing energy drink trial, the urine caffeine and paraxanthine concentrations significantly increased in comparison with the pre-test values (Table 2;  $P < 0.05$ ). In contrast, urinary caffeine and paraxanthine concentrations remained unchanged or were slightly reduced after the placebo trial. Urinary theobromine concentration decreased after both experimental trials (non-significant after the energy drink trial) and theophylline remained unchanged during the testing.

#### Perceptual evaluation and frequency of the side-effects

In comparison to the placebo drink, the pre-exercise ingestion of the caffeine-containing energy drink increased the perception of muscle power (caffeine = 7.1 ± 1.1 vs placebo = 5.2 ± 1.2;  $P < 0.05$ ) and endurance (caffeine = 6.6 ± 1.4 vs placebo = 5.1 ± 1.1;  $P < 0.05$ ) while it decreased the rate of PRE (caffeine = 4.6 ± 1.8 vs placebo = 5.7 ± 2.3;  $P < 0.05$ ) during the whole testing day. During the following hours to the test, the energy

**Table 2** Urine variables before and after physical testing with the ingestion of a caffeine-containing energy drink or a placebo drink

	Placebo	Energy drink
Caffeine ( $\mu\text{g/mL}$ )		
Pre	0.1 $\pm$ 0.1	0.1 $\pm$ 0.1
Post	0.1 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.7 * <sup>†</sup>
Paraxanthine ( $\mu\text{g/mL}$ )		
Pre	0.9 $\pm$ 1.0	0.5 $\pm$ 0.4
Post	0.4 $\pm$ 0.5 <sup>†</sup>	1.7 $\pm$ 1.1 * <sup>†</sup>
Theobromine ( $\mu\text{g/mL}$ )		
Pre	4.5 $\pm$ 4.2	7.5 $\pm$ 9.1
Post	2.4 $\pm$ 2.3 <sup>†</sup>	3.5 $\pm$ 4.3
Theophylline ( $\mu\text{g/mL}$ )		
Pre	0.3 $\pm$ 0.6	0.2 $\pm$ 0.3
Post	0.2 $\pm$ 0.3	0.4 $\pm$ 0.7

Data are mean  $\pm$  SD for 16 young basketball players

\* Different from placebo ( $P < 0.05$ )

<sup>†</sup> Different from Pre ( $P < 0.05$ )

**Table 3** Prevalence of side-effects during the hours following the ingestion of a caffeine-containing energy drink or a placebo drink

	Placebo (%)	Energy drink (%)
Headache	12.5	6.3
Abdominal/gut discomfort	6.3	12.5
Muscle soreness	25	31.3
Increased vigor/activeness	0	37.5 *
Tachycardia and heart palpitations	0	0
Insomnia	0	12.5
Increased urine production	0	0
Increased anxiety	0	0

Data are percentages for 16 young basketball players

(\*) Different from placebo ( $P < 0.05$ )

drink also increased the perceived vigor/activeness ( $P < 0.05$ ) while the remaining side-effects were not affected (Table 3).

## Discussion

The main purpose of this study was to determine the effectiveness of a commercially available energy drink (3 mg of caffeine per kg of body weight) on jump performance, endurance and shot precision in highly skilled young basketball players. For this purpose, 16 young players from a top level basketball team volunteered to ingest a caffeine-containing drink or a placebo drink before testing specific conditional capacities for basketball. In

comparison to the placebo drink, when the players drank the caffeinated beverage they increased their jump height in a CMJ test (from  $37.5 \pm 4.4$  to  $38.3 \pm 4.4$  cm;  $P < 0.05$ ) although leg muscle power output remain unchanged. During a 15-s jump test, mean jump height (from  $28.8 \pm 3.4$  to  $30.2 \pm 3.6$  cm;  $P < 0.05$ ) and total leg muscle power output (from  $48.6 \pm 9.5$  to  $52.3 \pm 13.5$  kW;  $P < 0.05$ ) were significantly increased with the energy drink. In contrast, the ingestion of the energy drink did not modify the distance covered by the players in the Yo-Yo IR1 or shooting precision during specific free throw and three-point shot tests. As a result, the pre-exercise ingestion of 3 mg of caffeine/kg bw in the form of an energy drink significantly improved jump performance but it did not have any influence on the precision of the basketball shots.

One of the novelties of the present investigation was the analysis of the influence of caffeine intake on the effectiveness of shooting precision. While there are numerous studies that examined the influence of caffeine on physical capacities relevant for team sports performance (Stuart et al. 2005; Duncan et al. 2009; Del Coso et al. 2012a), no study has analyzed the influence of this substance on shooting precision even though this ability can be a key factor for football, handball or basketball players' success. Share et al. (2009) investigated the influence of 2 and 4 mg of caffeine/kg bw on elite male shooters from the double-trap discipline of shooting. They found that pre-testing caffeine ingestion did not provide any performance benefits during clay target shooting. Gant et al. found that the coingestion of caffeine (3.7 mg caffeine/kg bw) and carbohydrates did not influence the precision of soccer passing skills performed during a team sport specific test (Gant et al. 2010) although 6 mg of caffeine per kg bw tended to increase passing accuracy (Foskett et al. 2009). In contrast, other authors have suggested that caffeine may negatively affect motor skill performance due to increased nervousness, arm and hand tremors and incoordination, especially in subjects that are not accustomed to this substance (Jacobson and Edgley 1987; Franks et al. 1975). In the present investigation, the ingestion of an energy drink with 3 mg/kg of caffeine had no influence on shooting precision during free throws (performed in a static position) or during three-point throws (performed dynamically; Table 1). These results suggest that 3 mg of caffeine per kg bw did not have any positive or negative effect on shooting precision during specific basketball shooting.

The percentages of free throws scored in our study ( $\sim 70\%$ ) were higher than those found by Zuzik (2011) when testing the best junior basketball teams in Slovakia (56.9% of free throws scored). These differences may be due to the fact that our free throws test was performed in a field situation while Zuzik obtained shooting precision data



during real competitions, with the psychological burden that this entails. Interestingly, the percentage of shots scored in the last 12 free throws was higher compared to the first 12 shots and this difference was maintained in both the energy drink and the placebo trials ( $P < 0.05$ ). Although participants were previously familiarized with the test, it is likely that players progressively adjusted their shooting technique and gained confidence. Thus, it can be concluded that the energy drink ingestion had no influence on the technique or on the progressive concentration of the players when they performed free throws.

Jumping is a very characteristic exercise action in basketball since players continuously jump during shooting, rebounds or defensive tasks. In many cases, the height reached during jumping actions influences the achievement of a defensive or offensive rebound or the success of a basketball shot (Dougherty et al. 2006). The effects of caffeine ingestion on lower body strength and power production are unclear. Beck et al. (2006) found no significant difference with the consumption of 201 mg of caffeine, as was found by Astorino et al. (2012) and Green et al. (2007) with the consumption of 6 mg caffeine/kg bw and Duncan et al. (Duncan et al. 2009) with an ingestion of 3 mg caffeine/kg bw, all of them during a test that included leg press repetitions to failure with 60 % of 1 RM. On the other hand, Hudson et al. (2008) found that 6 mg of caffeine/kg bw resulted in significantly greater total repetitions for leg extensions at 100 % of individual, predetermined, 12-repetition maximum for leg extensions. Del Coso et al. (2012a) found that a caffeinated energy drink with 3 mg caffeine/kg bw increased the mean jump height and the muscle power generated during a 15-s jump test in semi-professional soccer players and international rugby sevens players (Del Coso et al. 2013a).

The effects of caffeine on leg muscle performance may be related to the dose administered. Del Coso et al. (2008) investigated the effects of two doses of caffeine (1 and 3 mg caffeine/kg bw) in the form of an energy drink on the squat and bench press exercise. They found that 1 mg caffeine/kg bw did not affect muscle performance during the exercises, but 3 mg caffeine/kg bw increased maximal power in the half-squat and bench-press actions. In the present study, the ingestion of the caffeine-containing energy drink (3 mg caffeine/kg bw) significantly increased jumping height by  $2.1 \pm 4.6$  % in the CMJ ( $P < 0.05$ ) and by  $4.9 \pm 7.4$  % in the RJ-15 test ( $P < 0.05$ ). Although there were no significant differences in the leg muscle power produced during the CMJ, the total power generated during the 15-s jump test was higher with the energy drink than with the control drink ( $P < 0.05$ ). In order to catalogue the improvements in the jump capacity derived from the energy drink intake (2.1–4.9 % in single and repeated jumps) as a meaningful aid for basketball performance it is

necessary to these effects during either real or simulated basketball games. However, these data confirm that the ingestion of 3 mg of caffeine/kg of body weight in form of an energy drink increased physical performance.

The Yo–Yo IR1 has been previously used to assess the aerobic capacity of team sports players. Professional soccer players at the beginning of the competitive season covered  $1,760 \pm 59$  m (Krustrup et al. 2003) while they can perform more than 2,000 m during the competitive season (Castagna et al. 2006; Krustrup et al. 2003). In contrast, the distance covered in this test is much lower for female top-level (840–1,049 m) and recreational (1,010–1,048 m) team sport athletes (Thomas et al. 2006). Several previous studies have used the Yo–Yo IR1 to measure the endurance capacity of basketball players (Castagna et al. 2008a, b; Krustrup et al. 2003). Young basketball players covered between 1,200 and 1,700 m during this test (Castagna et al. 2008b; Vernillo et al. 2012), a distance very similar to the one covered in the present investigation with the placebo ( $1,925 \pm 702$  m). In addition, basketball players increased the running distance in the Yo–Yo IR1 by 3.7 % after the ingestion of the caffeine-containing energy drink, although this increase was not statistically significant ( $P = 0.19$ ). The ingestion of 3–6 mg of caffeine per kg of body weight has been repeatedly shown as ergogenic in several endurance activities (MacIntosh and Wright 1995; Wiles et al. 1992) and has also increased running distance during a similar Yo–Yo test (Mohr et al. 2011). There is a need for more information to elucidate if caffeine-containing energy drinks increase the endurance capacity of basketball players.

The Medical Commission of the International Olympic Committee included caffeine in the prohibited substances list in 1984 to minimize the use of high caffeine doses in sports. It was considered doping when an athlete presented a post-competition urine caffeine concentration of over 12  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . On January 1 2004, the World Anti-doping Agency decided to remove this substance from the prohibited list, due to the generalized use of caffeine in sports. The most modern version of the World Anti-Doping Code [World Anti-doping Web Site (Internet) Montreal (Canada): World Anti-doping Agency] indicates that a substance shall be prohibited before or during sports competition when it meets any two of the following three criteria: (1) it has the potential to enhance sport performance; (2) it represents an actual or potential health risk to the athlete; (3) it violates the spirit of sport.

The design of this study was set to determine whether basketball players met the first and second criteria, since the confirmation of the third condition is difficult to prove scientifically. From the results of this study, we can conclude that caffeine increased jumping performance in basketball players, but it did not affect shooting precision,

as has been discussed previously. To determine whether caffeine represents a risk to the athlete, we assessed side effects derived from the energy drink ingestion and we compared them with the placebo (Table 3). The pre-exercise ingestion of the energy drink increased the feeling of power and endurance during the testing and reduced the PRE. In addition, the energy drink increased vigor/activeness (Table 3) and tended to increase the frequency of gut/abdominal discomfort after the game, as has been previously found in active (Del Coso et al. 2012b) and rugby players (Del Coso et al. 2013a). This information reveals that the intake of 3 mg/kg of caffeine in the form of energy drinks increased the perceived performance during basketball-specific tests and it had minor side-effects during the following hours to the competition. Thus, we conclude that, in the basketball setting, caffeine meets only one of these two criteria. To determine whether the physical advantage obtained with caffeine represents a violation of the spirit of sport corresponds to anti-doping authorities.

In the present investigation, the post-exercise urinary caffeine concentration was  $1.2 \pm 0.7 \mu\text{g/mL}$  after the ingestion of the caffeine-containing energy drink. This value is close to the ones found in a male soccer players (Del Coso et al. 2012a) and male rugby players (Del Coso et al. 2013b) after the ingestion of a similar amount of energy drink. All these studies found ergogenic properties during team sports simulated performance after the ingestion of 3 mg caffeine/kg bw while the urinary caffeine concentration was much lower than  $12 \mu\text{g/mL}$ . It seems that the previous urinary threshold for caffeine doping was not sensitive enough to restrain the use of caffeine as a doping substance.

In summary, the ingestion of 3 mg of caffeine per kg of body weight by using a commercially available energy drink increased the height obtained during single or repeated jumping tests in young basketball players although it had no effects on the precision of free throws, three-point shots or the Yo-Yo IR1 test. The energy drink intake produced marginal side-effects during the following hours to the testing which suggests that these beverages did not represent a potential health risk to the young basketball players, at least with the dosage used in this investigation.

**Acknowledgments** The authors wish to thank the participants for their contribution to the study. Additionally, they thank the Fuenlabrada Basketball SAD for its invaluable help for the purposes of this investigation. This study did not receive any funding.

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

## References

- Abdelkrim NB, El Fazaa S, El Ati J (2007) Time-motion analysis and physiological data of elite under-19-year-old basketball players during competition. *Br J Sports Med* 41(2):69–75. doi:10.1136/bjbm.2006.032318 (discussion 75)
- Astorino TA, Matera AJ, Basinger J, Evans M, Schurman T, Marquez R (2012) Effects of red bull energy drink on repeated sprint performance in women athletes. *Amino Acids* 42(5):1803–1808. doi:10.1007/s00726-011-0900-8
- Baker LB, Dougherty KA, Chow M, Kenney WL (2007) Progressive dehydration causes a progressive decline in basketball skill performance. *Med Sci Sports Exerc* 39(7):1114–1123
- Beck TW, Housh TJ, Schmidt RJ, Johnson GO, Housh DJ, Coburn JW, Malek MH (2006) The acute effects of a caffeine-containing supplement on strength, muscular endurance, and anaerobic capabilities. *J Strength Cond Res* 20(3):506–510. doi:10.1519/18285.1
- Button C, MacLeod M, Sanders R, Coleman S (2003) Examining movement variability in the basketball free-throw action at different skill levels. *Res Q Exerc Sport* 74(3):257–269
- Castagna C, Impellizzeri FM, Chamari K, Carlomagno D, Rampinini E (2006) Aerobic fitness and yo-yo continuous and intermittent tests performances in soccer players: a correlation study. *J Strength Cond Res* 20(2):320–325. doi:10.1519/R-18065.1
- Castagna C, Abt G, Manzi V, Annino G, Padua E, D'Ottavio S (2008a) Effect of recovery mode on repeated sprint ability in young basketball players. *J Strength Cond Res* 22(3):923–929
- Castagna C, Impellizzeri FM, Rampinini E, D'Ottavio S, Manzi V (2008b) The Yo-Yo intermittent recovery test in basketball players. *J Sci Med Sport* 11(2):202–208
- Cormack SJ, Newton RU, McGuigan MR, Doyle TL (2008) Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *Int J Sports Physiol Perform* 3(2):131–144
- Del Coso J, Estevez E, Mora-Rodriguez R (2008) Caffeine effects on short-term performance during prolonged exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc* 40(4):744–751. doi:10.1249/MSS.0b013e3181621336
- 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. doi:10.1139/h11-052
- Del Coso J, Munoz-Fernandez VE, Munoz G, Fernandez-Elias VE, Ortega JF, Hamouti N, Barbero JC, Munoz-Guerra J (2012a) Effects of a caffeine-containing energy drink on simulated soccer performance. *PLoS One* 7(2):e31380
- Del Coso J, Salinero JJ, 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 Coso J, Portillo J, Munoz G, Abian-Vicen J, Gonzalez-Millan C, Munoz-Guerra J (2013a) Caffeine-containing energy drink improves sprint performance during an international rugby sevens competition. *Amino Acids* 44(6):1511–1519. doi:10.1007/s00726-013-1473-5
- Del Coso J, Ramirez JA, Muñoz G, Portillo LJ, Gonzalez-Millan C, Muñoz V, Barbero-Alvarez JC, Muñoz-Guerra J (2013b) Caffeine-containing energy drink improves physical performance of elite rugby players during a simulated match. *Appl Physiol Nutr Metab* 38(4):368–374
- Dougherty KA, Baker LB, Chow M, Kenney WL (2006) Two percent dehydration impairs and six percent carbohydrate drink improves boys basketball skills. *Med Sci Sports Exerc* 38(9):1650–1658
- Drinkwater EJ, Pyne DB, McKenna MJ (2008) Design and interpretation of anthropometric and fitness testing of basketball players. *Sports Med* 38(7):565–578
- Duncan MJ, Lyons M, Hankey J (2009) Placebo effects of caffeine on short-term resistance exercise to failure. *Int J Sports Physiol Perform* 4(2):244–253

- Foskett A, Ali A, Gant N (2009) Caffeine enhances cognitive function and skill performance during simulated soccer activity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 19(4):410–423
- Franks HM, Hagedorn H, Hensley VR, Hensley WJ, Starmer GA (1975) The effect of caffeine on human performance, alone and in combination with ethanol. *Psychopharmacologia* 45(2):177–181
- Gant N, Ali A, Foskett A (2010) The influence of caffeine and carbohydrate coingestion on simulated soccer performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 20(3):191–197
- Green JM, Wickwire PJ, McLester JR, Gendle S, Hudson G, Pritchett RC, Laurent CM (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
- Hoffman JR (2010) Caffeine and energy drinks. *Strength Cond J* 32(1):15–20
- Hoffman JR, Tenenbaum G, Maresh CM, Kraemer WJ (1996) Relationship between athletic performance tests and playing time in elite college basketball players. *J Strength Cond Res* 10(2):67–71
- Hudson GM, Green JM, Bishop PA, Richardson MT (2008) Effects of caffeine and aspirin on light resistance training performance, perceived exertion, and pain perception. *J Strength Cond Res* 22(6):1950–1957. doi:10.1519/JSC.0b013e31818219cb
- Jacobson BH, Edgley BM (1987) Effects of caffeine on simple reaction time and movement time. *Aviat Space Environ Med* 58(12):1153–1156
- Klusemann MJ, Pyne DB, Foster C, Drinkwater EJ (2012) Optimising technical skills and physical loading in small-sided basketball games. *J Sports Sci* 30(14):1463–1471. doi:10.1080/02640414.2012.712714
- Krustrup P, Mohr M, Amstrup T, Rysgaard T, Johansen J, Steensberg A, Pedersen PK, Bangsbo J (2003) The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Med Sci Sports Exerc* 35(4):697–705
- MacIntosh BR, Wright BM (1995) Caffeine ingestion and performance of a 1,500-metre swim. *Canadian journal of applied physiology. Revue canadienne de physiologie appliquee* 20(2):168–177
- McInnes SE, Carlson JS, Jones CJ, McKenna MJ (1995) The physiological load imposed on basketball players during competition. *J Sports Sci* 13(5):387–397. doi:10.1080/02640419508732254
- Mohr M, Nielsen JJ, Bangsbo J (2011) Caffeine intake improves intense intermittent exercise performance and reduces muscle interstitial potassium accumulation. *J Appl Physiol* 111(5):1372–1379
- Share B, Sanders N, Kemp J (2009) Caffeine and performance in clay target shooting. *J Sports Sci* 27(6):661–666
- Stuart GR, Hopkins WG, Cook C, Cairns SP (2005) Multiple effects of caffeine on simulated high-intensity team-sport performance. *Med Sci Sports Exerc* 37(11):1998–2005
- Thomas A, Dawson B, Goodman C (2006) The yo-yo test: reliability and association with a 20-m shuttle run and VO<sub>2</sub>max. *Int J Sports Physiol Perform* 1(2):137–149
- Tucker MA, Hargreaves JM, Clarke JC, Dale DL, Blackwell GJ (2013) The effect of a caffeine on maximal oxygen uptake and vertical jump performance in male basketball players. *J Strength Cond Res* 27(2):382–387
- Vernillo G, Silvestri A, Torre AL (2012) The yo-yo intermittent recovery test in junior basketball players according to performance level and age group. *J Strength Cond Res* 26(9):2490–2494
- Wiles JD, Bird SR, Hopkins J, Riley M (1992) Effect of caffeinated coffee on running speed, respiratory factors, blood lactate and perceived exertion during 1500-m treadmill running. *Br J Sports Med* 26(2):116–120
- World Anti-doping Web Site [Internet]. Montreal (Canada): World Anti-doping Agency. Available from: [http://www.wada-ama.org/Documents/World\\_Anti-Doping\\_Program/WADP-Prohibited-list/WADA\\_Prohibited\\_List\\_2004\\_EN.pdf](http://www.wada-ama.org/Documents/World_Anti-Doping_Program/WADP-Prohibited-list/WADA_Prohibited_List_2004_EN.pdf). Accessed 1 Jun 2012
- Zuzik P (2011) Free throw shooting effectiveness in basketball matches of men and women. *Sports Sci Rev* 20(3):149–160



## **ANEXO 4**

---

Caffeine improves basketball performance in experienced basketball players.



## Journal of Sports Sciences



### **Caffeine improves basketball performance in experienced basketball players**

Journal:	<i>Journal of Sports Sciences</i>
Manuscript ID	RJSP-2017-0154
Manuscript Type:	Original Manuscript
Keywords:	ergogenic aids, stimulants, Team sports, elite athletes, side-effects

SCHOLARONE™  
Manuscripts

**Caffeine improves basketball performance in experienced basketball players**

Running head: **Caffeine and overall basketball performance**

Type of article: **Original article**

Word count: **3952 words**

**ABSTRACT**

The aim of this study was to determine the effect of caffeine intake on overall basketball performance in experienced players. A double-blind, placebo-controlled, randomized experimental design was used for this investigation. In two different sessions separated by one week, 20 experienced basketball players ingested 3 mg of caffeine/kg of body mass or a placebo. After 60 min, participants performed 10 repetitions of the following sequence: Abalakov jump, CODAT test and two free throws. Later, heart rate, body impacts and game statistics were recorded during a 20-min simulated basketball game. In comparison to the placebo, the ingestion of caffeine increased mean jump height ( $37.3 \pm 6.8$  vs.  $38.2 \pm 7.4$  cm;  $P=0.012$ ) but did not change mean time in the CODAT test or accuracy in free throws. During the simulated game, caffeine increased the number of body impacts ( $396 \pm 43$  vs.  $410 \pm 41$  impacts $\cdot$ min $^{-1}$ ;  $P<0.001$ ) without modifying mean or peak heart rate. Caffeine also increased the performance index rating ( $7.2 \pm 8.6$  vs.  $10.6 \pm 7.1$ ;  $P=0.037$ ) during the game. Nevertheless, players showed a higher prevalence of insomnia (19.0 vs. 54.4%;  $P=0.041$ ) after the game. Three mg of caffeine per kg of body mass could be an effective ergogenic substance to increase physical performance and overall success in experienced basketball players.

**Key words:** Ergogenic aids; stimulants; team sport; elite athlete; side effects.



## **INTRODUCTION**

Elite athletes typically use different nutritional and ergogenic strategies to improve sport-specific performance and caffeine is one of the most consumed substances (Del Coso, Munoz, & Munoz-Guerra, 2011) because of its effectiveness to increase physical performance in both team and individual sports (Abian et al., 2015; Diaz-Lara et al., 2016; Perez-Lopez et al., 2015). Perhaps, one of the most sought after effects of caffeine intake in team-sports athletes is the enhancement of high-intensity movements and running speed during sprints due to the relationship of such actions with overall success in these types of sports (Del Coso, Ramirez, et al., 2013; Fernandes-da-Silva, Castagna, Teixeira, Carminatti, & Guglielmo, 2016; Lara et al., 2014). To date, inconsistent effects of caffeine have been obtained during sprints tests that included several repetitions at maximal running speed in an attempt to replicate the conditions of team-sports competition (Astorino et al., 2012; Del Coso et al., 2012; Del Coso, Portillo, et al., 2013; Glaister et al., 2008). However, caffeine intake has been repeatedly found effective to increase the number of movements and distance covered at high intensity during simulated and real rugby (Del Coso, Portillo, et al., 2013; Del Coso, Ramirez, et al., 2013), soccer (Del Coso et al., 2012; Lara et al., 2014), hockey (Del Coso et al., 2016) and volleyball games (Del Coso et al., 2014; Perez-Lopez et al., 2015).

Although the scientific information about the effects of caffeine on basketball performance is scarce, a few specific skills of this team sport have already been analyzed after the ingestion of this substance (Abian-Vicen et al., 2014; Tucker, Hargreaves, Clarke, Dale, & Blackwell, 2013). One of these studies showed that caffeine ( $3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  body mass) did not increase  $\text{VO}_{2\text{max}}$  nor jump height during a 10-vertical jumps test performed by five basketball players (Tucker et al., 2013). On the contrary, sixteen elite young basketball players improved their jump height in single and repeated maximal

countermovement jumps after the ingestion of the same dose of caffeine (Abian-Vicen et al., 2014). Because jump performance is a key variable for basketball success, the increased jumping ability after caffeine intake might enhance overall basketball performance, but this has not been investigated yet.

Apart from excellent abilities to repeat sprints and jumps, other attributes are fundamental for experienced players to be successful in a complex sport such as basketball. Among them, cognitive and skill-based demands along with decision-making components are critical for basketball-specific actions such as dribbling, shooting and passing. While the effects of caffeine on physical performance are well-recognized, it has been also hypothesized that caffeine ergogenicity could be outweighed in some skill-based sports by its potential negative effects on accuracy and decision-making actions (Foskett, Ali, & Gant, 2009; Gant, Ali, & Foskett, 2010; Share, Sanders, & Kemp, 2009). However, different outcomes have been found on the influence of caffeine on skill-based actions in different sports. On the one hand, caffeine intake did not exert any influence on accuracy in clay target shooting (Share et al., 2009) nor passing accuracy during intermittent shuttle-running trials that simulated soccer play, when ingested in combination with carbohydrate (Gant et al., 2010). On the other hand, caffeine ingestion improved passing accuracy during a simulated soccer game when this substance was ingested alone (Foskett et al., 2009). To date, only one investigation has studied the influence of caffeine intake on shooting accuracy in junior basketball players (Abian-Vicen et al., 2014). In this investigation, caffeine did not exert any influence –either positive or negative- on the accuracy of free throws and 3-point shots.

With this background, it is difficult to confirm whether caffeine is an ergogenic aid for basketball players, mainly because the effects of this substance on basketball-specific physical and/or technical actions (e.g. sprinting and shooting abilities and game

performance indicators, etc.) are not well established. The aim of this investigation was to determine the effects of caffeine intake on overall basketball performance in experienced players assessed during specific tests and during a simulated basketball match.

## **METHODS**

**Participants.** Twenty well-trained experienced basketball players, from two different basketball teams, volunteered to participate in this investigation. The sample included 10 professional female basketball players (age:  $27.9 \pm 6.1$  year, height:  $175.2 \pm 0.1$  cm, body mass:  $70.9 \pm 13.0$  kg, body fat:  $16.8 \pm 5.4\%$ , body muscle:  $47.1 \pm 4.3\%$ ) and 10 semiprofessional male basketball players (age:  $27.1 \pm 4.0$  year, height:  $193.1 \pm 8.8$  cm, body mass:  $89.5 \pm 13.5$  kg, body fat:  $11.8 \pm 3.1\%$ , body muscle:  $48.3 \pm 2.4\%$ ). All participants had prior basketball experience of at least 10 years and had trained for approximately  $2 \text{ h}\cdot\text{day}^{-1}$ ,  $5 \text{ days}\cdot\text{week}^{-1}$  (including a weekly competition) during the previous year. Players had no previous history of cardiopulmonary diseases and were not taking medications or sympathetic stimulants during the duration of the investigation. Moreover, all of the participants were non-smokers and light-caffeine consumers ( $<100 \text{ mg}\cdot\text{day}^{-1}$ ). All female participants that took part in this investigation were tested during the luteal phase of their menstrual cycle. Before enrolling in the study, players were fully informed of any risks and discomforts associated with the trials and they gave their informed written consent to participate. The investigation was approved by the University Ethics Committee in accordance with the latest version of the Declaration of Helsinki.

**Pre-experimental procedures.** One week before the experimental trials, players underwent a physical examination to ensure that they were in good health. After that, participants were nude weighed ( $\pm 50$  g, Radwag, Poland) to individualize caffeine doses. On the same day, the anthropometric characteristics were registered by an ISAK-certified anthropometrist and the body fat percentage was calculated using six skin folds (Stewart & Marfell-Jones, 2011). The participants were also encouraged by the investigators to abstain from caffeine ingestion in any form (e.g. coffee, cola, energy drinks) during the whole duration of the investigation. The day before each experimental trial, participants refrained from strenuous exercise and adopted a similar diet and fluid intake regimen. They were also instructed to have their habitual pre-competition meal at least three hours before the onset of the experimental trials. All these standardizations were reported to the technical staff of the basketball team to ensure compliance and confirmed by individualized dietary and training diaries.

**Experimental design.** A double-blind, placebo-controlled, randomized and counterbalanced experimental design was used in this investigation. Each participant took part in two trials under the same experimental conditions. One week of rest was set between experimental trials to allow complete recovery and caffeine washout and the experimental testing was carried out at the same time of day (from 7 to 9 p.m.) and with the same ambient conditions (indoor facility at  $18.5 \pm 0.8$  °C dry temperature;  $30.8 \pm 1.0$  relative humidity). On one occasion, participants ingested 3 mg of caffeine per kg of body mass ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; 99% purity, BulkPowders, UK; women:  $191.3 \pm 76.7$  mg; men:  $268.4 \pm 40.6$  mg) in an opaque and unidentifiable capsule. On another occasion, participants ingested an identical opaque capsule filled with a placebo substance (cellulose). The

capsule was ingested 60 min before the onset of experimental trials to allow complete caffeine absorption (Armstrong, 2002). The order of the experimental trials (e.g. caffeine or placebo) was randomized and counterbalanced. However, the order of the experimental trials was set so that all the players from the same basketball team received the same treatment (caffeine or placebo) in order to facilitate the analysis of the game statistics related to each basketball team. The capsules were prepared by an investigator that did not take part in the experimental trials, who assigned an alphanumeric code to each trial to blind participants and researchers to the substance ingested by each team. This code was unveiled after the analysis of the variables.

**Experimental protocol.** On the day of testing, participants arrived at their habitual basketball court 75 min before the beginning of the trial. They then ingested the capsule assigned for the trial. They wore their habitual competition clothes (T-shirt, shorts and basketball shoes). A GPS/Accelerometer/HR device inserted in an adjustable neoprene harness (GPS, SPI PRO X, GPSports<sup>®</sup>, Australia) was provided to each player and a heart rate monitor (Polar<sup>®</sup> T31, Finland) was firmly attached to their chest. Each player adjusted the harness and the heart rate band to avoid any hindering of movements. Players wore the same GPS unit for each experimental trial to reduce measurement error. Then, players performed a standardized and specific warm-up for 30 min led by their strength and conditioning coach. After the warm-up, players began the performance tests, which consist of 10 repetitions of a combination of jumps, sprints and shooting tasks (2 min of recovery between repetitions). In each repetition basketball players performed an Abalakov jump (Optojump next; Microgate, Bolzano, Italy; DSD Sport System, Spain; (Rodriguez-Rosell, Mora-Custodio, Franco-Marquez, Yanez-Garcia, & Gonzalez-Badillo, 2016)) followed by

the Change-of-Direction and Acceleration Test (CODAT; (Lockie, Schultz, Callaghan, Jeffriess, & Berry, 2013); and two free throws. There was no recovery time between the jump and the sprint, but a 14 s recovery period was set between the sprint and the free-throws to replicate the time gap between stoppages in the game and the onset of free-throw series (based on a previous analysis carried out in 100 official games in the same basketball category). The CODAT was performed without (from 1<sup>st</sup> to 5<sup>th</sup> repetitions) and with the basketball ball (from 6<sup>th</sup> to 10<sup>th</sup> repetitions) to assess the influence of caffeine on running velocity with and without the influence of controlling the ball. Verbal instructions were given to indicate the onset of each repetition, and oral feedback was given by the technical staff to encourage players to produce maximal performance in each trial.

Twenty minutes after the basketball-specific testing, players participated in a simulated game played on an official basketball court. The game consisted of two parts of 10 minutes with a break of 2 minutes between them, following the rules of the International Basketball Federation (FIBA; except for the game duration). Two professional referees made the decisions during the games. Each basketball team was composed of the same individuals on both days: one guard, two forwards and two centers. The teams were previously prepared by the technical staff to create a tight game between the teams. Time-outs and changes among players were not allowed. In each game, players were instructed to use an individual defense and to attack without predetermined game systems. The simulated games were video-recorded and analyzed afterwards by two specialists in basketball game-related statistical notation. The following game-related statistics were gathered: total points, free throws and 2- and 3-point field goals (made, attempted and accuracy), offensive, defensive and total number of rebounds, assists, steals, turnovers, received and committed blocks, dunks and received and committed fouls. With all these variables, the performance index rating was calculated ((points + total rebounds +

assists + steals + blocks committed + fouls received) – (missed shots + turnovers + fouls committed)) as proposed by the FIBA (Arrieta, Torres-Unda, Gil, & Irazusta, 2016). Moreover, body impacts and heart rate were continuously monitored during the game using GPS/Accelerometer/HR devices with indoor settings. Player-impact data were gathered from the accelerometer and measured in “G” force units. Although this measurement was unspecific to differentiate among different basketball actions (e.g., change of directions, jumps, etc), it allowed the quantification of individual body movements during the game in each experimental trial. Impact intensity was graded according to the following scale: Zone 1  $\leq 0.99$  G; Zone 2 from 1.00 to  $\leq 1.99$  G; Zone 3 from 2.00 to  $\leq 2.99$  G; Zone 4 from 3.00 to  $\leq 3.99$  G; Zone 5 from 4.00 to  $\leq 4.99$  G; Zone 6  $\geq 5.00$  G .

At the end of the basketball game, players were required to fill out a questionnaire about their sensations of muscle power, endurance, and overall perceived exertion (RPE) during the game. This questionnaire included a 1- to 10-point scale to individually assess each item (1 point meant the minimal amount of that item and 10 points meant the maximal amount of the item (Salinero et al., 2014)). In addition, participants were provided with a survey to be filled out the following morning about sleep quality, nervousness, gastrointestinal problems, and other discomforts perceived during the hours after the game. This survey included seven items on a yes/no scale and has been previously used to assess side effects derived from caffeine ingestion (Salinero et al., 2014). This survey also included specific questions to evaluate the success of the blinding procedure.

**Statistical analysis.** Male and female basketball players were treated as a single group in the statistical analysis because no sex interactions had been found previously in the use of

caffeine with exercise (Duncan & Hankey, 2013; Salinero et al., 2014). Data analysis was performed using the SPSS v 20.0 software (SPSS Inc., Chicago, IL). First, the Shapiro-Wilk test was used to test the normality of each variable ( $P > 0.05$ ). After that, Student's  $t$ -test for dependent variables was used to establish the differences in the variables normally distributed between the caffeine and placebo. A two-way ANOVA was used to determine differences between treatments for the different accelerometry zones. The McNemar test was used to detect differences in the frequencies of side effects reported after the ingestion of each treatment. The magnitude of Cohen's effect size was calculated and interpreted using the following scale: trivial (0–0.19), small (0.20–0.49), medium (0.50–0.79) and large (0.80 and greater). The results are presented as *mean ± standard deviation*, and the significance level was set at  $P < 0.05$ . The 95% confidence interval for the mean difference (95% CI) between placebo and caffeine was also calculated.

## **RESULTS**

In comparison to the placebo, the ingestion of caffeine increased mean jump height reached during the 10 repetitions of the Abalakov test ( $37.3 \pm 6.8$  vs.  $38.2 \pm 7.4$  cm; 95% CI = 0.3 to 1.6 cm;  $d = 0.14$ ;  $P = 0.012$ ). Specifically, caffeine significantly increased jump height in jumps number 3, 5, 6, 9 and 10 (all with  $P < 0.05$ ; Figure 1, upper panel). As Figure 1 (lower panel) depicts, and even though the intake of caffeine significantly improved the 8<sup>th</sup> repetition (or 3<sup>rd</sup> repetition performed with ball; 95% CI = -0.17 to -0.02 s;  $d = 0.34$ ;  $P = 0.020$ ), caffeine did not change the mean time during the CODAT test without the ball ( $5.96 \pm 0.29$  vs.  $5.95 \pm 0.31$  s; 95% CI = -0.09 to 0.07 s;  $d = 0.39$ ;  $P = 0.388$ ) or with the ball ( $6.20 \pm 0.29$  vs.  $6.14 \pm 0.32$  s; 95% CI = -0.14 to 0.02 s;  $d = 0.21$ ;  $P =$



= 0.119). Respect to the placebo, the caffeine intake did not modify the number of free throws made ( $15.4 \pm 1.6$  vs.  $15.6 \pm 2.3$ ; 95% CI = -0.8 to 1.1;  $d = 0.09$ ;  $P = 0.389$ ).

The notational analysis of the simulated basketball game showed that caffeine intake significantly increased the total number of impacts per minute of game play ( $396 \pm 43$  vs.  $410 \pm 41$  impacts·min<sup>-1</sup>; 95% CI = 7.7 to 19.0 impacts·min<sup>-1</sup>;  $d = 0.31$ ;  $P < 0.001$ ). Figure 2 depicts the categorization of body impacts according to the intensity of each acceleration/deceleration. The ingestion of caffeine increased the number of impacts in Zone 1 ( $247 \pm 26$  vs.  $259 \pm 28$  impacts·min<sup>-1</sup>; 95% CI = 7.5 to 14.9 impacts·min<sup>-1</sup>;  $d = 0.45$ ;  $P < 0.001$ ) during the game but did not affect the remaining zones. Moreover, caffeine did not affect mean heart rate ( $157 \pm 13$  vs.  $161 \pm 10$  bpm; 95% CI = -6.0 to 10.9 bpm;  $d = 0.30$ ;  $P = 0.299$ ) or maximal heart rate ( $185 \pm 12$  vs.  $188 \pm 10$  bpm; 95% CI = -5.8 to 4.9 bpm;  $d = 0.30$ ;  $P = 0.499$ ).

Data from all game-related statistics analyzed during the simulated games are presented in Table 1. In comparison with the placebo, the pre-exercise ingestion of caffeine significantly increased the number of free throws attempted ( $d = 0.57$ ;  $P = 0.042$ ) and made ( $d = 0.67$ ;  $P = 0.030$ ), the number of offensive ( $d = 1.16$ ;  $P = 0.020$ ) and total rebounds ( $d = 0.64$ ;  $P = 0.026$ ) and the number of assists ( $d = 1.10$ ;  $P = 0.019$ ). The performance index rating was also significantly improved with the ingestion of caffeine ( $d = 0.38$ ;  $P = 0.037$ ). No significant differences were found in the remaining game-related statistics measured ( $P > 0.05$ ).

In comparison to the placebo, caffeine intake significantly increased self-perceived muscle power ( $5.3 \pm 1.4$  vs.  $6.6 \pm 1.4$  A.U.; 95% CI = 0.5 to 2.0 A.U.;  $d = 0.93$ ;  $P = 0.003$ ) during the testing. However, no significant differences were found for self-reported fatigue ( $5.3 \pm 1.6$  vs.  $4.9 \pm 1.5$  A.U.; 95% CI = -1.1 to 0.4 A.U.;  $d = 0.25$ ;  $P = 0.396$ ) or the

endurance perception ( $5.5 \pm 1.2$  vs.  $6.3 \pm 1.6$  A.U.; 95% CI = -0.04 to 1.6 A.U.;  $d = 0.61$ ;  $P = 0.058$ ). During the 24 h following the test, players showed significantly higher prevalence of insomnia (19.0 vs. 54.4%;  $P = 0.041$ ) while the remaining side effects (nervousness,  $P = 1.000$ ; irritability,  $P = 1.000$ , activeness,  $P = 0.687$ ; gastrointestinal discomforts,  $P = 1.000$ ; headache,  $P = 1.000$ ; and muscle pain,  $P = 0.687$ ) were similar between both experimental trials.

## **DISCUSSION**

The main purpose of this investigation was to determine the effectiveness of caffeine (3 mg of caffeine per kg of body mass) to improve overall performance in experienced basketball players. For this purpose, 20 experienced male and female basketball players volunteered to ingest caffeine or placebo pills before physical testing and a simulated game. Briefly, in comparison to the placebo, players increased their jump height during basketball-specific jumps, increased the number of body impacts and improved overall performance during the basketball game as depicted by the performance index rating after the ingestion of caffeine. These effects were accompanied by higher perceived muscle power during testing and a tendency for a higher perceived endurance capacity. All this information suggests that caffeine, in a dose of 3 mg per kg of body mass might be considered as an effective ergogenic substance to increase physical and overall performance in basketball.

Like the current study (Figure 1, upper panel), other previous investigations have found that caffeine ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) increases jump height in different types of jumps in professional male badminton players (Abian et al., 2015), professional female and male volleyball players (Del Coso et al., 2014; Perez-Lopez et al., 2015), professional female

rugby sevens players (Del Coso, Portillo, et al., 2013), elite speed swimmers (Lara et al., 2015) and elite young basketball players (Abian-Vicen et al., 2014). Thus, it can be safely concluded that caffeine improves jump performance in individual and team sports-specific actions. On the contrary, caffeine did not enhance maximal running speed during the CODAT test, independently of whether this test was performed with or without the ball. Interestingly, previous investigations that have found benefits from caffeine ingestion (3-6 mg·kg<sup>-1</sup>) on maximal running speed during a repeated-bouts test have used protocols with linear running (Carr, Dawson, Schneiker, Goodman, & Lay, 2008; Del Coso et al., 2012; Glaister et al., 2008) while the CODAT test includes several changes of direction that imply continuous accelerations and decelerations during running. In addition, other investigations have also failed to find a positive effect of caffeine on other protocols that included repeated sprints in team-sports athletes (Del Coso, Portillo, et al., 2013; Kopec, Dawson, Buck, & Wallman, 2016; Lara et al., 2014). Thus, to date, it cannot be concluded in objective terms whether caffeine is effective to increase sprint performance in team-sport players.

One of the novelties of the present investigation was the analysis of the influence of caffeine intake on game performance. While the effect of caffeine on physical performance has been well investigated, information about the translation of the physical benefits of this substance to overall sports performance is scarce. In this study, caffeine increased the amount of free throws attempted and made while caffeine did not improve accuracy in this type of throw (Table 1). Besides, caffeine ingestion had no influence on 2- and 3-point field goals but increased the number of assists during the game (Table 1). According to other investigations (Garcia, Ibanez, De Santos, Leite, & Sampaio, 2013; Lyons, Al-Nakeeb, & Nevill, 2006; Puente, Coso, Salinero, & Abián-Vicén, 2015), a higher number of assists indicates better coordination, anticipation and timing in the team.

Previous investigations have concluded that the number of rebounds is a key factor for basketball performance (Garcia et al., 2013; Malarranha, Figueira, Leite, & Sampaio, 2013; Puente et al., 2015). For example, the number of rebounds explained 23% of the wins during a regular season in the ACB category (Puente et al., 2015) and influenced game outcomes in a Basketball World Championship (Malarranha et al., 2013). In the present study, the players obtained more offensive and total rebounds after the ingestion of caffeine (Table 1). This effect could be related to the improvement in jump height obtained with this substance. Moreover, caffeine significantly increased the performance index rating, a variable used by FIBA leagues and competitions to measure basketball players' overall performance as far as game statistics is concerned (Arrieta et al., 2016). In the light of these outcomes, it might be possible that caffeine plays a role for enhancing teamwork and physical performance contributing to better decision-making on court, although this hypothesis requires further investigation. Lastly, during the 20-min simulated basketball game against a team of the same level, the pre-exercise ingestion of caffeine increased the number of total impacts. All these data, merged together, indicate a clear influence of caffeine on basketball players' movements during the game that ultimately might increase overall basketball performance, as previously found in other team sports such as volleyball (Del Coso et al., 2014; Perez-Lopez et al., 2015).

The post-testing questionnaire about self- performance and the prevalence of adverse effects indicated that the ingestion of caffeine enhanced the perception of muscle power during testing and tended to increase self-perceived endurance capacity. On the other hand, the pre-exercise ingestion of caffeine increased insomnia during the 24 h following its intake with no other measurable side effect. According to other investigations (Del Coso, Portillo, et al., 2013; Lara et al., 2014), the negative effect of caffeine on the sleep patterns of our players could be related to the experimental design,

with all trials being performed in the evening, less than 6 hours from caffeine ingestion to the onset of bedtime. The higher frequency of insomnia after the intake of caffeine should be taken into account when recommending caffeine to increase performance in team sports.

In summary, the pre-exercise ingestion of 3 mg·kg<sup>-1</sup> of caffeine improved jump height during Abalakov jumps, the amount of body impacts during a simulated game, the number of free throws made and attempted, offensive and total rebounds and the total number of assists. All these statistics led to a higher basketball performance index rating with caffeine which is the best indicator to assess overall basketball performance. On the contrary, this dose of caffeine also produced marginal side-effects during the following hours to the intake, mostly related to sleep disturbances. The outcomes of this investigation show that caffeine might be considered as an ergogenic substance to improve physical and overall basketball performance, since it was effective in increasing several basketball-specific skills. For the basketball training professional, the improvement of game-related statistics during play without negatively affecting the percentage of throws made might persuade them about the use of caffeine for high performance basketball players. However, the use of caffeine should be restricted to physical challenges -competitions and/or high-intensity trainings- to avoid habituation and dependence (Beaumont et al., 2016), for those players that have maximized performance through appropriate training and dietary habits, and taking into account its effects on sleep quality.

**ACKNOWLEDGEMENTS**

The authors thank the [REDACTED]  
[REDACTED] for their invaluable contribution to this study.

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

The authors declare that the results of the study are presented clearly, honestly, and without fabrication, falsification, or inappropriate data manipulation.

This investigation was funded by the [REDACTED]  
[REDACTED].

REFERENCES

- Abian-Vicen, J., Puente, C., Salinero, J. J., Gonzalez-Millan, C., Areces, F., Munoz, G., . . .  
. Del Coso, J. (2014). A caffeinated energy drink improves jump performance in adolescent basketball players. *Amino Acids*, *46*(5), 1333-1341. doi: 10.1007/s00726-014-1702-6
- Abian, P., Del Coso, J., Salinero, J. J., Gallo-Salazar, C., Areces, F., Ruiz-Vicente, D., . . .  
Abian-Vicen, J. (2015). The ingestion of a caffeinated energy drink improves jump performance and activity patterns in elite badminton players. *Journal of Sports Science*, *33*(10), 1042-1050. doi: 10.1080/02640414.2014.981849
- Armstrong, L. E. (2002). Caffeine, body fluid-electrolyte balance, and exercise performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *12*(2), 189-206
- Arrieta, H., Torres-Unda, J., Gil, S. M., & Irazusta, J. (2016). Relative age effect and performance in the U16, U18 and U20 European Basketball Championships. *Journal of Sports Sciences*, *34*(16), 1330-1334
- Astorino, T. A., Matera, A. J., Basinger, J., Evans, M., Schurman, T., & Marquez, R. (2012). Effects of red bull energy drink on repeated sprint performance in women athletes. *Amino Acids*, *42*(5), 1803-1808. doi: 10.1007/s00726-011-0900-8
- Beaumont, R., Cordery, P., Funnell, M., Mears, S., James, L., & Watson, P. (2016). Chronic ingestion of a low dose of caffeine induces tolerance to the performance benefits of caffeine. *Journal of Sports Sciences*, 1-8. doi: 10.1080/02640414.2016.1241421

## Journal of Sports Sciences

- Carr, A., Dawson, B., Schneider, K., Goodman, C., & Lay, B. (2008). Effect of caffeine supplementation on repeated sprint running performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(4), 472-478
- Del Coso, J., Munoz-Fernandez, V. E., Munoz, G., Fernandez-Elias, V. E., Ortega, J. F., Hamouti, N., . . . Munoz-Guerra, J. (2012). Effects of a caffeine-containing energy drink on simulated soccer performance. *PLoS One*, 7(2), e31380. doi: 10.1371/journal.pone.0031380
- 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. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 36(4), 555-561. doi: 10.1139/h11-052
- 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. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 1013-1018. doi: 10.1123/ijsp.2013-0448
- 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. doi: 10.1007/s00726-013-1473-5
- Del Coso, J., Portillo, J., Salinero, J. J., Lara, B., Abian-Vicen, J., & Areces, F. (2016). Caffeinated Energy Drinks Improve High-Speed Running in Elite Field Hockey Players. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 26(1), 26-32. doi: 10.1123/ijsnem.2015-0128



Del Coso, J., Ramirez, J. A., Munoz, G., Portillo, J., Gonzalez-Millan, C., Munoz, V., . . .

Munoz-Guerra, J. (2013). Caffeine-containing energy drink improves physical performance of elite rugby players during a simulated match. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, *38*(4), 368-374. doi: 10.1139/apnm-2012-0339

Diaz-Lara, F. J., Del Coso, J., Portillo, J., Areces, F., Garcia, J. M., & Abian-Vicen, J.

(2016). Enhancement of High-Intensity Actions and Physical Performance During a Simulated Brazilian Jiu-Jitsu Competition With a Moderate Dose of Caffeine. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(7), 861-867. doi: 10.1123/ijsp.2015-0686

Duncan, M. J., & Hankey, J. (2013). The effect of a caffeinated energy drink on various

psychological measures during submaximal cycling. *Physiology & behavior*, *116*(1), 60-65

Fernandes-da-Silva, J., Castagna, C., Teixeira, A. S., Carminatti, L. J., & Guglielmo, L. G.

(2016). The peak velocity derived from the Carminatti Test is related to physical match performance in young soccer players. *Journal of Sports Sciences*, *34*(24), 2238-2245. doi: 10.1080/02640414.2016.1209307

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

Gant, N., Ali, A., & Foskett, A. (2010). The influence of caffeine and carbohydrate

coingestion on simulated soccer performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *20*(3), 191-197

- Garcia, J., Ibanez, S. J., De Santos, R. M., Leite, N., & Sampaio, J. (2013). Identifying basketball performance indicators in regular season and playoff games. *Journal of Human Kinetic, 36*(1), 161-168. doi: 10.2478/hukin-2013-0016
- Glaister, M., Howatson, G., Abraham, C. S., Lockey, R. A., Goodwin, J. E., Foley, P., & McInnes, G. (2008). Caffeine supplementation and multiple sprint running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 40*(10), 1835-1840. doi: 10.1249/MSS.0b013e31817a8ad2
- Kopec, B. J., Dawson, B. T., Buck, C., & Wallman, K. E. (2016). Effects of sodium phosphate and caffeine ingestion on repeated-sprint ability in male athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport, 19*(3), 272-276
- Lara, B., Gonzalez-Millan, C., Salinero, J. J., Abian-Vicen, J., Areces, F., Barbero-Alvarez, J. C., . . . Del Coso, J. (2014). Caffeine-containing energy drink improves physical performance in female soccer players. *Amino Acids, 46*(5), 1385-1392. doi: 10.1007/s00726-014-1709-z
- Lara, B., Ruiz-Vicente, D., Areces, F., Abian-Vicen, J., Salinero, J. J., Gonzalez-Millan, C., . . . Del Coso, J. (2015). Acute consumption of a caffeinated energy drink enhances aspects of performance in sprint swimmers. *The British Journal of Nutrition, 114*(6), 908-914. doi: 10.1017/s0007114515002573
- Lockie, R. G., Schultz, A. B., Callaghan, S. J., Jeffriess, M. D., & Berry, S. P. (2013). Reliability and Validity of a New Test of Change-of-Direction Speed for Field-Based Sports: the Change-of-Direction and Acceleration Test (CODAT). *Journal of Sports Science & Medicine, 12*(1), 88-96

- Lyons, M., Al-Nakeeb, Y., & Nevill, A. (2006). The impact of moderate and high intensity total body fatigue on passing accuracy in expert and novice basketball players. *Journal of Sports Science & Medicine*, 5(2), 215-227
- Malarranha, J., Figueira, B., Leite, N., & Sampaio, J. (2013). Dynamic Modeling of Performance in Basketball. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 13(2), 377-387
- Perez-Lopez, A., Salinero, J. J., Abian-Vicen, J., Valades, D., Lara, B., Hernandez, C., . . . Del Coso, J. (2015). Caffeinated energy drinks improve volleyball performance in elite female players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(4), 850-856. doi: 10.1249/MSS.0000000000000455
- Puente, C., Coso, J. D., Salinero, J. J., & Abián-Vicén, J. (2015). Basketball performance indicators during the ACB regular season from 2003 to 2013. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(3), 935-948
- Rodriguez-Rosell, D., Mora-Custodio, R., Franco-Marquez, F., Yanez-Garcia, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). Traditional vs. sport-specific vertical jump tests: reliability, validity and relationship with the legs strength and sprint performance in adult and teen soccer and basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, In press. doi: 10.1519/JSC.0000000000001476
- Salinero, J. J., Lara, B., Abian-Vicen, J., Gonzalez-Millán, C., Areces, F., Gallo-Salazar, C., . . . Del Coso, J. (2014). The use of energy drinks in sport: perceived ergogenicity and side effects in male and female athletes. *British Journal of Nutrition*, 112(09), 1494-1502

## Journal of Sports Sciences

Share, B., Sanders, N., & Kemp, J. (2009). Caffeine and performance in clay target shooting. *Journal of Sports Sciences*, 27(6), 661-666

Stewart, A., & Marfell-Jones, M. (2011). *International standards for anthropometric assessment*. Lower Hutt, New Zealand: International Society for the Advancement of Kinanthropometry.

Tucker, M. A., Hargreaves, J. M., Clarke, J. C., Dale, D. L., & Blackwell, G. J. (2013). The effect of caffeine on maximal oxygen uptake and vertical jump performance in male basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(2), 382-387. doi: 10.1519/JSC.0b013e31825922aa

**FIGURE CAPTION**

**Figure 1.** Jump height during 10 repetitions of the Abalakov jump (upper panel) and running time during 10 repetitions of the Change-of-Direction and Acceleration Test (CODAT; lower panel) with the ingestion of caffeine (3 mg of caffeine per kg of body mass) or a placebo. Data are mean  $\pm$  standard deviation for 20 basketball players.

(\*) Different from placebo ( $P < 0.05$ ).

**Figure 2.** Number of impacts per minute during a simulated basketball game with the ingestion of caffeine (3 mg of caffeine per kg of body mass) or a placebo. Data are mean  $\pm$  standard deviation for 20 basketball players.

Zone 1  $\leq 0.99$  G; Zone 2 from 1.00 to  $\leq 1.99$  G; Zone 3 from 2.00 to  $\leq 2.99$  G; Zone 4 from 3.00 to  $\leq 3.99$  G; Zone 5 from 4.00 to  $\leq 4.99$  G; Zone 6  $\geq 5.00$  G.

(\*) Different from placebo ( $P < 0.05$ ).

**Table 1.** Game-related statistics with the ingestion of caffeine (3 mg of caffeine per kg of body mass) or a placebo. Data are mean  $\pm$  standard deviation for 20 basketball players.

Variable	Placebo	Caffeine	Diff.	95% CI	Effect size	P value
Points	8.2 $\pm$ 6.9	8.8 $\pm$ 6.1	0.6 $\pm$ 7.0	-2.7 to 3.9	0.09	0.354
2-point field goals made	2.5 $\pm$ 2.4	2.7 $\pm$ 2.6	0.2 $\pm$ 3.2	-1.2 to 1.7	0.10	0.365
2-point field goals attempted	3.8 $\pm$ 3.0	4.5 $\pm$ 3.3	0.7 $\pm$ 4.1	-1.2 to 2.7	0.25	0.213
Accuracy in 2-point field goals (%)	54.7 $\pm$ 30.5	52.9 $\pm$ 37.2	-1.8 $\pm$ 50.2	-28.5 to 25.0	0.05	0.446
3-point field goals made	0.9 $\pm$ 1.2	0.8 $\pm$ 1.1	-0.1 $\pm$ 1.1	-0.7 to 0.4	0.19	0.273
3-point field goals attempted	2.8 $\pm$ 2.1	2.4 $\pm$ 2.3	-0.4 $\pm$ 2.1	-1.3 to 0.6	0.17	0.228
Accuracy in 3-point field goals (%)	27.4 $\pm$ 31.5	23.7 $\pm$ 27.5	-3.7 $\pm$ 33.4	-21.5 to 14.1	0.11	0.333
Free throws made	0.6 $\pm$ 0.8	1.1 $\pm$ 1.1*	0.5 $\pm$ 1.2	0.1 to 1.0	0.67	0.030
Free throws attempted	0.9 $\pm$ 1.1	1.5 $\pm$ 1.5*	0.6 $\pm$ 1.6	0.0 to 1.3	0.57	0.042
Accuracy in free throws (%)	71.4 $\pm$ 40.5	73.8 $\pm$ 20.7	2.3 $\pm$ 39.9	-34.5 to 39.3	0.18	0.440
Offensive rebounds	0.5 $\pm$ 0.6	1.2 $\pm$ 1.6*	0.7 $\pm$ 1.4	0.2 to 1.2	1.16	0.020
Defensive rebounds	2.1 $\pm$ 1.7	2.6 $\pm$ 1.8	0.5 $\pm$ 2.1	-0.5 to 1.5	0.30	0.146
Total rebounds	2.5 $\pm$ 2.0	3.7 $\pm$ 2.6*	1.2 $\pm$ 2.7	0.2 to 2.3	0.64	0.026
Assists	1.1 $\pm$ 0.9	2.1 $\pm$ 1.6*	1.0 $\pm$ 2.0	0.2 to 1.8	1.10	0.019
Steals	0.9 $\pm$ 1.1	1.2 $\pm$ 1.3	0.4 $\pm$ 1.6	-0.5 to 1.0	0.23	0.240
Turnovers	1.7 $\pm$ 1.5	1.7 $\pm$ 1.3	0.0 $\pm$ 2.1	-1.0 to 1.0	0.08	0.500
Blocks committed	0.0 $\pm$ 0.0	0.1 $\pm$ 0.3	0.1 $\pm$ 0.3	-0.1 to 0.2	0.22	0.081
Blocks received	0.1 $\pm$ 0.3	0.0 $\pm$ 0.0	-0.1 $\pm$ 0.3	-0.2 to 0.1	0.32	0.081
Fouls committed	1.3 $\pm$ 1.0	1.0 $\pm$ 0.9	0.3 $\pm$ 1.1	-0.3 to 0.8	0.22	0.165
Fouls received	1.0 $\pm$ 0.9	1.3 $\pm$ 1.0	-0.3 $\pm$ 1.3	-0.8 to 0.4	0.20	0.253
Performance index rating	8.4 $\pm$ 8.3	11.6 $\pm$ 7.3*	3.2 $\pm$ 8.0	0.1 to 6.2	0.38	0.037

(\*) Different from placebo ( $P < 0.05$ ). Diff. = mean difference Caffeine – Placebo. 95% CI = 95% Confidence Interval for the mean difference.

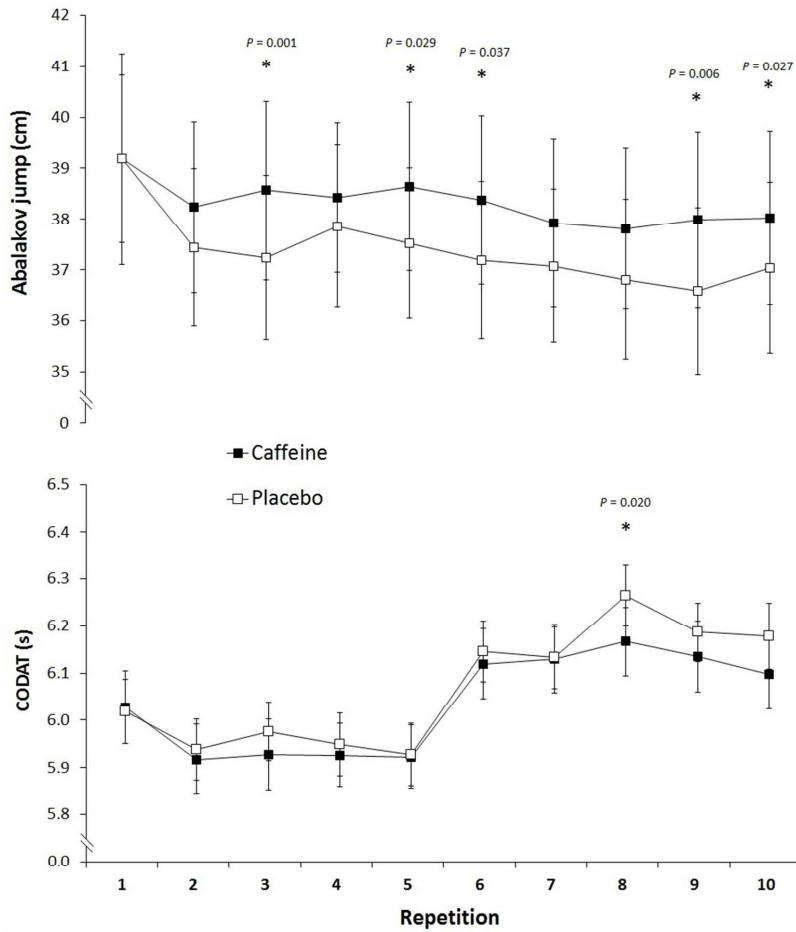


Figure 1. Jump height during 10 repetitions of the Abalakov jump (upper panel) and running time during 10 repetitions of the Change-of-Direction and Acceleration Test (CODAT; lower panel) with the ingestion of caffeine (3 mg of caffeine per kg of body mass) or a placebo

253x300mm (96 x 96 DPI)



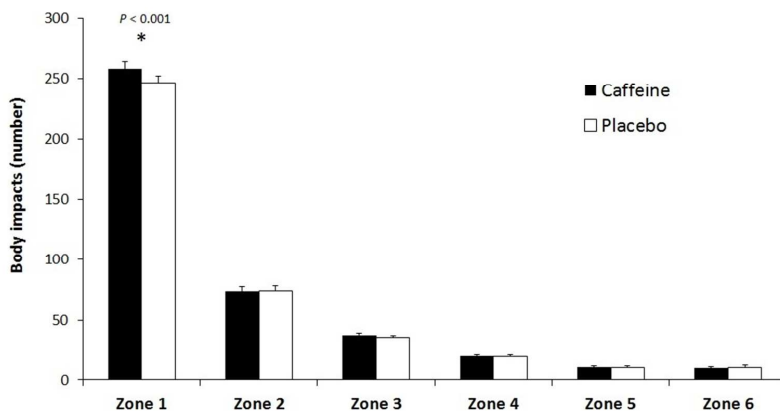


Figure 2. Number of impacts per minute during a simulated basketball game with the ingestion of caffeine (3 mg of caffeine per kg of body mass) or a placebo.

251x132mm (96 x 96 DPI)



## **ANEXO 5**

---

The CYP1A2 - 163C>A polymorphism does not alter the effects of caffeine on basketball performance.



**The CYP1A2 -163C>A polymorphism does not alter the effects of caffeine on  
basketball performance**

Short title: **CYP1A2 gene and the ergogenic effects of caffeine**

**Authors:** Carlos Puente<sup>1</sup>, Javier Abián-Vicén<sup>1,2</sup>, Juan Del Coso<sup>1</sup>, Beatriz Lara<sup>1</sup> and Juan José Salinero<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Exercise Physiology Laboratory. Camilo José Cela University. Madrid, Spain.

<sup>2</sup>Performance and Sport Rehabilitation Laboratory. University of Castilla La Mancha. Toledo, Spain.

Address for correspondence:

Juan Del Coso.

Camilo José Cela University.

C/ Castillo de Alarcón, 49. Villafranca del Castillo, 28692. SPAIN

Phone: 34+918 153 131 (Ext. 1627)

Fax: 34+918 153 131.

E-mail: [jdelcoso@ucjc.edu](mailto:jdelcoso@ucjc.edu)

## ABSTRACT

**Purpose.** The aim of this investigation was to analyze the influence of the genetic variations of the -163C>A polymorphism of the CYP1A2 gene on the ergogenic effects of caffeine in elite basketball players. **Methods.** Nineteen elite basketball players (10 men and 9 women) ingested 3 mg·kg<sup>-1</sup> of caffeine or a placebo 60 min before performing 10 repetitions of: the Abalakov jump test followed by the CODAT test. The players then competed in a 20-min simulated basketball game. Self-perceived performance and side effects were recorded by questionnaires after the trials. The effects of caffeine on basketball performance were established according to players' CYP1A2 genotype (rs762551): AA homozygotes (n=10) and C-allele carriers (n=9). **Results.** In the 10 repetitions, caffeine increased Abalakov jump height by a mean of 2.9±3.6% in AA homozygotes ( $p=0.02$ ) while this effect was not significant for C-allele carriers (2.3 ± 6.8%;  $p=0.16$ ). Caffeine did not affect sprint time in the CODAT test in either genotype group but it increased the number of impacts performed during the simulated game in both AA homozygotes (3.0 ± 4.8%;  $p=0.05$ ) and C-allele carriers (3.3 ± 3.2%;  $p=0.01$ ). During the 24 h following the test, AA homozygotes tended to experience increased insomnia with caffeine while C-allele carriers did not present this effect. The remaining variables were unaffected by the genotype. **Conclusion.** The CYP1A2 -163C>A polymorphism minimally altered the ergogenicity derived from the consumption of a moderate dose of caffeine.

**Keywords:** genetics; basketball performance; caffeine; team sports; stimulants.

## INTRODUCTION

Caffeine or caffeinated products are commonly used as ergogenic aids in sports because of their efficacy to increase physical performance in both team and individual sports with different physiological demands [1-6]. The popularity of caffeine in sports is due to its measurable ergogenic effects even when consumed in low-to-moderate doses (from 3 to 6 mg·kg<sup>-1</sup>; [7-9]) and its effectiveness to increase athletes' perception of their performance [10]. These notions are grounded on previous investigations that have reported the benefits of caffeine for physical performance as a group mean. However, a few investigations have shown that not all individuals experience enhanced physical performance after the ingestion of moderate doses of caffeine [6, 11, 12] which suggests that this stimulant might not be ergogenic for all athletes. Indeed, these studies have identified the presence of athletes that obtain minimal ergogenic effects or even slightly ergolytic effects after caffeine intake (e.g., non-responders to caffeine).

Although there is still no clear explanation for the lack of ergogenic effects of caffeine in some individuals, several researchers have suggested that the inter-individual differences in the ergogenicity of caffeine could be related to genetic polymorphisms in cytochrome P450 proteins, the hepatic enzymes responsible for caffeine metabolism. Specifically, CYP1A2 is a drug-metabolizing enzyme with major relevance for caffeine metabolism because it catabolizes caffeine into paraxanthine and other dimethylxanthines [13]. A single nucleotide polymorphism (SNP) in the CYP1A2 gene (-163C>A; rs762551) is responsible for the ultra-fast CYP1A2\*1F haplotype which confers a faster capacity to metabolize caffeine on AA homozygotes [14]. According to this notion, AA homozygotes could catabolize caffeine into paraxanthine faster than CA and CC individuals [15], which in turn could produce a higher clearance

of this substance from the blood and reduce the ergogenic effects from caffeine ingestion in these individuals.

Previous investigations have been aimed at determining the influence of the -163C>A SNP on the ergogenic effects of caffeine [16-19], although the outcomes of this research are inconsistent. It has been found that C-allele carriers (CC homozygotes and CA heterozygotes) experienced a greater improvement with caffeine ( $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) than AA homozygotes during a 3 km cycling trial [17]. On the contrary, AA homozygotes had greater ergogenicity compared to C-allele carriers after ingesting caffeine ( $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) prior to a 40-km time trial [16]. It has even been found that the ergogenic effects of caffeine ( $\sim 4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) are unmodified by the -163C>A SNP because the change in performance induced by caffeine was similar for AA homozygotes and C-allele carriers during a 15-min cycling test [19], with no changes in post-exercise heart rate variability between genotypes [18]. The aim of the present study was to analyze the influence of the genetic variations of the CYP1A2 gene (-163C>A) on the ergogenic effects derived from a moderate dose of caffeine in elite basketball players, to increase available information about the mechanism related to the inter-individual variability in the ergogenicity of caffeine.

## **METHODS**

**Participants.** Nineteen elite basketball players volunteered to participate in this study. The sample included 10 semiprofessional male basketball players and 9 professional female basketball players. All participants had prior basketball experience of at least 10 years and had trained for approximately  $2 \text{ h}\cdot\text{day}^{-1}$ ,  $5 \text{ days}\cdot\text{week}^{-1}$  (including a weekly competition) during the previous year. Players had no previous



history of cardiopulmonary diseases and were not taking medications or sympathetic stimulants during the duration of the investigation. Moreover, all of the subjects were non-smokers and light-caffeine consumers ( $<100 \text{ mg}\cdot\text{day}^{-1}$ ). All female players were always tested during the luteal phase.

**Ethics statement.** Participants were previously informed of any risks and discomforts associated with the tests before giving their informed written consent to participate. The investigation was approved by the University Ethics Committee in accordance with the latest version of the Declaration of Helsinki.

**Pre-experimental procedures.** One week before the experimental trials, participants underwent a physical examination to ensure that they were in good health. After that, players were nude weighed ( $\pm 50 \text{ g}$ , Radwag, Poland) to individualize caffeine doses. Afterwards, a venous blood sample (5 mL) was obtained from an antecubital vein and inserted into a tube with EDTA and refrigerated ( $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). This sample was later analyzed to determine genetic variations in the  $163\text{C}>\text{A}$  (rs762551) SNP using standard procedures [19]. On the same day, participants' anthropometric characteristics were registered by an ISAK-certified anthropometrist and body fat percentage was calculated using six skin folds [20]. The participants were also encouraged by the researchers to abstain from caffeine ingestion in any form (e.g. cola, coffee, energy drinks, etc.) for the whole duration of the experiment and compliance was checked with dietary records.

**Experimental Design.** A case-control ecological experimental design was used for this investigation. Initially, the participants were divided into three groups, established according to their individual genetic profile in the single nucleotide polymorphism  $163\text{C}>\text{A}$  of the CYP1A2 gene (e.g., AA, CA and CC groups). However, C-allele carriers (e.g., CA and CC) were clustered and considered as a single group due

to a preliminary analysis that showed very similar phenotyping responses in these individual participants. Moreover, this same collapsing strategy has been previously suggested for this SNP [16, 18, 19]. This study treated male and female basketball players as a single group in the statistical analysis because no sex interactions have been previously found in the use of caffeine in sports [10, 21], (Table 1).

**Experimental protocol** For this investigation, all the basketball players underwent the same testing under the same experimental conditions, participating in a double-blind, placebo-controlled randomized experiment. Each participant took part in two trials separated by one week and the testing was carried out at the same time of day (from 7 to 9 p.m.) and with the same ambient conditions (indoor facility at  $18.5\pm 0.8$  °C dry temperature;  $30.8\pm 1.0$  relative humidity). On one occasion, subjects took 3 mg of caffeine per kg of body mass ( $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; 99% purity, BulkPowders, UK) in an opaque capsule. On another occasion, players ingested an identical opaque capsule with the same color but filled with a placebo substance (cellulose). The capsule was ingested 60 min before the onset of testing to allow complete caffeine absorption [22]. The order of the experimental trials (e.g. caffeine or placebo) was randomized and counterbalanced. However, the order of the testing days was set so that all the players from the same team received the same treatment (caffeine or placebo) to facilitate the analysis of the game statistics related to each basketball team. The capsules were prepared by a researcher that did not take part in the experimental trials and an alphanumeric code was assigned to each day of testing to blind participants and investigators to the substance ingested by each team.

On the day of the experimental trial, players arrived at their habitual basketball court and ingested the capsule assigned for the trial with 250 mL of water. They wore the same clothes they usually use to compete in (T-shirt, shorts and basketball shoes) for

both days. An accelerometer/heart rate device (SPI PRO X, GPSports<sup>®</sup>, Australia) and a heart rate monitor (Polar<sup>®</sup> T31, Finland) were provided to each player to be inserted in a purpose-built harness. Afterwards, the basketball players performed a standardized warm-up for 30 min consisting of a continuous run, dynamic flexibility, dribbling and shooting exercises. Then, they performed 10 repetitions of a combination of jumps, sprints and free throws (2 min of recovery between repetitions). In each repetition, players performed an Abalakov jump (Optojump next; Microgate, Bolzano, Italy; DSD Sport System, Spain; [23]) and a Change-of-Direction and Acceleration Test (CODAT; [24]). There was no recovery time between the jump and the sprint, but a 14 s recovery time was set between repetitions. The CODAT was performed without (from 1<sup>st</sup> to 5<sup>th</sup> repetitions) and with the basketball ball (from 6<sup>th</sup> to 10<sup>th</sup> repetitions) to assess the effects of caffeine on running velocity with changes of directions with and without ball bounce.

After a 20-min recovery period, players participated in a simulated game played on an official basketball court. The game consisted of two halves of 10 minutes with a break of 2 minutes between them, following the rules of the International Basketball Federation (FIBA). Two professional referees made the decisions during the games. Each basketball team was composed of the same individuals on both days: one guard, two forwards and two centers. Changes among players and time-outs were not allowed. Players were required to play with an individual defense and to attack without closed and predetermined game systems during the whole match. Body impacts and heart rate were continuously monitored during the game using accelerometer/heart rate devices. When the game finished, participants filled out a questionnaire about their sensations of endurance, muscle power and overall perceived exertion (RPE) during the game. This questionnaire included a 1- to 10-point scale to individually assess each item (1 point meant the minimal amount of that item and 10 points meant the maximal amount of the

item [10]). In addition, participants were provided with a survey to be filled out the following morning about gastrointestinal problems, insomnia, nervousness and other discomforts perceived during the hours after the game. This questionnaire included seven items on a yes/no scale and has been previously used to evaluate side effects derived from caffeine ingestion [10].

**Statistical analysis.** Data analysis was performed using the SPSS v 20.0 software (SPSS Inc., Chicago, IL). Firstly, the Shapiro-Wilk test was used to test the normality of each variable. All the variables showed a normal distribution ( $p > 0.05$ ) and two-way ANOVAs (experimental treatment x genotype group) with repeated measures were performed for all outcome variables to analyze the effects produced by the ingestion of caffeine in AA homozygotes and C-allele carriers. The Bonferroni multiple comparison test was performed to account for multiple comparisons. The magnitude of Cohen's effect size was calculated for pairwise comparisons. The McNemar test was used to detect differences in the frequencies of side effects reported after the ingestion of each treatment. The results are presented as mean  $\pm$  SD for each genotype group, and the significance level was set at  $p < 0.05$ .

## RESULTS

There were no differences for age or anthropometric characteristics between AA homozygotes and C-allele carriers ( $p > 0.05$ ; Table 1). In the 10 repetitions, caffeine increased Abalakov jump height by a mean of  $2.9 \pm 3.6\%$  in AA homozygotes ( $d = 0.2$ ,  $p = 0.02$ ) while this effect was not significant for C-allele carriers ( $2.3 \pm 6.8\%$ ;  $d = 0.2$ ,  $p = 0.16$ ; Table 2). However, there was no interaction between genotypes and treatment for jump height. During the repetitions of the CODAT test without the ball, caffeine did not affect sprint time in AA homozygotes ( $-0.5 \pm 4.0\%$ ;  $d = 0.1$ ,  $p = 0.36$ ) or C-

allele carriers ( $0.4 \pm 4.0\%$ ;  $d = 0.1$ ,  $p = 0.37$ ). Neither did caffeine affect sprint time in the repetitions of the CODAT test with the ball in AA homozygotes ( $-1.0 \pm 4.0\%$ ;  $d = 0.4$ ,  $p = 0.15$ ) or C-allele carriers ( $0.0 \pm 3.0\%$ ;  $d = 0.0$ ,  $p = 0.49$ ).

Caffeine did not significantly modify mean and peak heart rate during the simulated basketball game in AA homozygotes or C-allele carriers ( $d < 0.4$ ,  $p > 0.05$ ). Nevertheless, AA homozygotes ( $3.0 \pm 4.8\%$ ;  $d = 0.2$ ,  $p = 0.05$ ) and C-allele carriers ( $3.3 \pm 3.2\%$ ;  $d = 0.4$ ,  $p = 0.01$ ) similarly increased the number of impacts performed during the simulated game. There was no interaction between genotypes and treatment for the number of impacts during the game.

In comparison to the placebo, AA homozygotes increased the self-perceived muscle power with caffeine by  $26.4 \pm 11.0\%$  ( $d = 0.8$ ,  $p = 0.04$ ). Self-perceived muscle power was also increased by  $14.3 \pm 11.0\%$  in C-allele carriers although the increase over the placebo did not reach statistical significance ( $d = 0.9$ ,  $p = 0.16$ ). In any case, there was no interaction between genotype groups and treatment for self-perceived muscle power. AA homozygotes tended to increase self-perceived endurance capacity with caffeine by  $19.3 \pm 5.8\%$  ( $d = 0.7$ ,  $p = 0.06$ ) while this variable was unchanged with caffeine intake in the C-allele carriers group ( $0.0 \pm 6.0\%$ ;  $d = 0.0$ ,  $p = 0.50$ ). However, there was no interaction between genotype and treatment for self-perceived endurance capacity. During the 24 h following the test, AA homozygotes tended to experience increased insomnia with caffeine (Table 3) while C-allele carriers did not present this effect. The remaining side effects were not affected by caffeine intake and they were of a similar magnitude in AA homozygotes and C-allele ( $p > 0.05$ ).

## **DISCUSSION**

The aim of this research protocol was to analyze the influence of genetic variations of the CYP1A2 gene on the ergogenic effects conferred by the intake of a moderate dose of caffeine on basketball performance. For this purpose, we analyzed the -163C>A SNP of this gene in a group of 19 experienced basketball players that carried out specific testing and played a simulated basketball game with and without caffeine. According to player's genotype and previous investigations on this topic [16, 19], two genotype groups were established: AA homozygotes and C-allele carriers. This grouping was based on the higher CYP1A2 enzyme activity found in AA homozygotes that produces faster caffeine metabolism [15] and ultimately could lead to a reduced effectiveness of caffeine in terms of ergogenicity.

The outcomes of this investigation reflect that the ergogenic benefit obtained with the intake of 3 mg·kg<sup>-1</sup> of caffeine was of similar magnitude for both AA homozygotes and C-allele carriers, with slight statistical significance but little biological relevance between groups. For example, AA homozygotes significantly increased mean jump height with caffeine during 10 non-consecutive Abalakov jumps (Table 2). The intake of caffeine did not significantly increase mean jump height in C-allele carriers but the percentage of change induced by caffeine ingestion and the size effect was comparable between AA homozygotes and C-allele carriers (Table 2). In the same way, AA homozygotes significantly increased self-perceived muscle power with caffeine. Still, the change in self-perceived muscle power of C-allele carriers after caffeine intake was non-significant when compared to the placebo trial but of the same magnitude as the one found in AA homozygotes. Caffeine also increased the number of impacts during the simulated basketball game and the magnitude of change was very similar for both AA homozygotes and C-allele carriers (Table 2). This means that basketball players not only increased jump performance and their feelings of muscle

power, they also were more active during a simulated game with the ingestion of caffeine. Moreover, the drawbacks of caffeine ingestion in these basketball players were minimal because exercise heart rate and the prevalence of side effects were similar between caffeine and placebo trials - except for a tendency for increased insomnia in AA homozygotes (Table 3). All this information suggests that caffeine ergogenic effects are equally present in AA and C-allele basketball players, while the downsides are minor in both groups, at least with a dose of 3 mg·kg<sup>-1</sup> of caffeine. Thus, the CYP1A2 -163C>A SNP exerts minimal influence regarding the benefits obtained by the ingestion of caffeine.

A few previous investigations have tried to determine the genetic influence of the CYP1A2 gene (-163C>A SNP) on the ergogenic effects derived from caffeine intake in athletes or active people [16-19]. According to these investigations, it is unfeasible to draw conclusions about the role of the -163C>A SNP on caffeine ergogenicity because a positive [16], negative [17] and neutral [18, 19] ergogenic effect has been found for AA individuals vs CA+CC individuals in different cycling trials. Our data suggest that caffeine was equally effective for both AA and C-allele individuals to increase some aspects of their basketball performance, which coincides with the lack of influence of the -163C>A SNP found in previous investigations. Still, further research is needed to ground this notion in order to generalize it to other sport disciplines.

Although we did not discover an association between the CYP1A2 genotype and the extent of the ergogenicity obtained from caffeine intake, previous research is solid regarding the presence of caffeine non-responders [11, 12, 25, 26]. We speculate that other genes or other gene combinations must be responsible of the inter-individual difference in response to caffeine ingestion. As the ergogenic effect of caffeine has been

mainly related to blockage of the “fatiguing” action of adenosine on its receptors [27], variations of the ADORA2A gene could also be proposed as an explanation for the individual ergogenicity of this substance, mainly because this gene produces different sensitivity to caffeine effects on sleep, anxiety and cognitive performance [28-30]. To date, there is no investigation that has analyzed the effect of ADORA2A on the ergogenicity of caffeine, and thus, this research problem remains unresolved.

In summary, AA homozygotes and C-allele carriers for the CYP1A2 -163C>A SNP obtained similar benefits during specific testing and a simulated basketball game from the ingestion of 3 mg·kg<sup>-1</sup> of caffeine. Although only AA homozygotes significantly improved jump performance and reported higher muscle-power feelings over the placebo trial, a more profound analysis of the effect sizes reveals that C-allele carriers obtained ergogenic effects of a similar magnitude. Thus, the genetic variations of the CYP1A2 gene did not affect the ergogenicity or side effects derived from the consumption of a moderate dose of caffeine. Additional research is necessary to provide an explanation for the inter-individual effects of caffeine intake in sports, specially to explain the nature of non-responders to caffeine.



## **ACKNOWLEDGMENTS**

The authors thank the Club Baloncesto La Paz (Madrid) and Club Baloncesto Fundal Alcobendas (Madrid) for their invaluable contribution to this study.

## **CONFLICT OF INTEREST**

The authors of this study have no conflict of interest derived from the outcomes of the study. The authors declare that the results of the study are presented clearly, honestly, and without fabrication, falsification, or inappropriate data manipulation.

## **FINANCIAL SUPPORT**

This investigation was funded by the Vice-Rectorate of Science of the Camilo José Cela University (CAFEGEN project).

## REFERENCES

1. Abian P, Del Coso J, Salinero JJ, Gallo-Salazar C, Areces F, Ruiz-Vicente D, et al. The ingestion of a caffeinated energy drink improves jump performance and activity patterns in elite badminton players. *J Sports Sci.* 2015;33(10):1042-50. Epub 2014/12/23. doi: 10.1080/02640414.2014.981849. PubMed PMID: 25530454.
2. Abian-Vicen J, Puente C, Salinero JJ, Gonzalez-Millan C, Areces F, Munoz G, et al. A caffeinated energy drink improves jump performance in adolescent basketball players. *Amino Acids.* 2014;46(5):1333-41. Epub 2014/03/07. doi: 10.1007/s00726-014-1702-6. PubMed PMID: 24599611.
3. Del Coso J, Munoz-Fernandez VE, Munoz G, Fernandez-Elias VE, Ortega JF, Hamouti N, et al. Effects of a caffeine-containing energy drink on simulated soccer performance. *PLoS One.* 2012;7(2):e31380. Epub 2012/02/22. doi: 10.1371/journal.pone.0031380. PubMed PMID: 22348079; PubMed Central PMCID: PMC3279366.
4. Del Coso J, Perez-Lopez A, Abian-Vicen J, Salinero JJ, Lara B, Valades D. Enhancing physical performance in male volleyball players with a caffeine-containing energy drink. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9(6):1013-8. Epub 2014/03/26. doi: 10.1123/ijsp.2013-0448. PubMed PMID: 24664858.
5. Del Coso J, Portillo J, Munoz G, Abian-Vicen J, Gonzalez-Millan C, Munoz-Guerra J. Caffeine-containing energy drink improves sprint performance during an international rugby sevens competition. *Amino Acids.* 2013;44(6):1511-9. Epub 2013/03/07. doi: 10.1007/s00726-013-1473-5. PubMed PMID: 23462927.

6. Lara B, Ruiz-Vicente D, Areces F, Abian-Vicen J, Salinero JJ, Gonzalez-Millan C, et al. Acute consumption of a caffeinated energy drink enhances aspects of performance in sprint swimmers. *Br J Nutr.* 2015;114(6):908-14. Epub 2015/08/19. doi: 10.1017/S0007114515002573. PubMed PMID: 26279580.
7. Hogervorst E, Bandelow S, Schmitt J, Jentjens R, Oliveira M, Allgrove J, et al. Caffeine improves physical and cognitive performance during exhaustive exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(10):1841-51. Epub 2008/09/19. doi: 10.1249/MSS.0b013e31817bb8b7. PubMed PMID: 18799996.
8. Bishop D. Dietary supplements and team-sport performance. *Sports Med.* 2010;40(12):995-1017. Epub 2010/11/10. doi: 10.2165/11536870-000000000-00000. PubMed PMID: 21058748.
9. Perez-Lopez A, Salinero JJ, Abian-Vicen J, Valades D, Lara B, Hernandez C, et al. Caffeinated energy drinks improve volleyball performance in elite female players. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(4):850-6. Epub 2014/07/23. doi: 10.1249/MSS.0000000000000455. PubMed PMID: 25051390.
10. Salinero JJ, Lara B, Abian-Vicen J, Gonzalez-Millan C, Areces F, Gallo-Salazar C, et al. The use of energy drinks in sport: perceived ergogenicity and side effects in male and female athletes. *Br J Nutr.* 2014;112(9):1494-502. Epub 2014/09/13. doi: 10.1017/S0007114514002189. PubMed PMID: 25212095.
11. Skinner TL, Jenkins DG, Coombes JS, Taaffe DR, Leveritt MD. Dose response of caffeine on 2000-m rowing performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(3):571-6. Epub 2009/12/03. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181b6668b. PubMed PMID: 19952822.

12. Doherty M, Smith PM, Davison RC, Hughes MG. Caffeine is ergogenic after supplementation of oral creatine monohydrate. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(11):1785-92. Epub 2002/11/20. doi: 10.1249/01.MSS.0000035365.66598.24. PubMed PMID: 12439084.
13. Perera V, Gross AS, McLachlan AJ. Measurement of CYP1A2 activity: a focus on caffeine as a probe. *Current drug metabolism.* 2012;13(5):667-78. Epub 2012/05/05. PubMed PMID: 22554278.
14. Ghotbi R, Christensen M, Roh HK, Ingelman-Sundberg M, Aklillu E, Bertilsson L. Comparisons of CYP1A2 genetic polymorphisms, enzyme activity and the genotype-phenotype relationship in Swedes and Koreans. *European journal of clinical pharmacology.* 2007;63(6):537-46. Epub 2007/03/21. doi: 10.1007/s00228-007-0288-2. PubMed PMID: 17370067.
15. Djordjevic N, Ghotbi R, Jankovic S, Aklillu E. Induction of CYP1A2 by heavy coffee consumption is associated with the CYP1A2 -163C>A polymorphism. *European journal of clinical pharmacology.* 2010;66(7):697-703. Epub 2010/04/15. doi: 10.1007/s00228-010-0823-4. PubMed PMID: 20390257.
16. Womack CJ, Saunders MJ, Bechtel MK, Bolton DJ, Martin M, Luden ND, et al. The influence of a CYP1A2 polymorphism on the ergogenic effects of caffeine. *J Int Soc Sports Nutr.* 2012;9(1):7. Epub 2012/03/17. doi: 10.1186/1550-2783-9-7. PubMed PMID: 22420682; PubMed Central PMCID: PMC3334681.
17. Pataky MW, Womack CJ, Saunders MJ, Goffe JL, D'Lugos AC, El-Sohehy A, et al. Caffeine and 3-km cycling performance: Effects of mouth rinsing, genotype, and

time of day. *Scand J Med Sci Sports*. 2016;26(6):613-9. Epub 2015/06/13. doi: 10.1111/sms.12501. PubMed PMID: 26062916.

18. Thomas RM, Algrain HA, Ryan EJ, Popojas A, Carrigan P, Abdulrahman A, et al. Influence of a CYP1A2 polymorphism on post-exercise heart rate variability in response to caffeine intake: a double-blind, placebo-controlled trial. *Ir J Med Sci*. 2016. Epub 2016/07/02. doi: 10.1007/s11845-016-1478-7. PubMed PMID: 27363424.

19. Algrain H, Thomas R, Carrillo A, Ryan E, Kim C, Lettan R, et al. The effects of a polymorphism in the cytochrome P450 CYP1A2 gene on performance enhancement with caffeine in recreational cyclists. *J Caffeine Res*. 2015;6(1):1-6.

20. Marfell-Jones MJ, Stewart A, de Ridder J. International standards for anthropometric assessment: Potchefstroom; 2012.

21. Duncan MJ, Hankey J. The effect of a caffeinated energy drink on various psychological measures during submaximal cycling. *Physiol Behav*. 2013;116-117:60-5. Epub 2013/04/02. doi: 10.1016/j.physbeh.2013.03.020. PubMed PMID: 23542532.

22. Armstrong LE. Caffeine, body fluid-electrolyte balance, and exercise performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2002;12(2):189-206. Epub 2002/08/22. PubMed PMID: 12187618.

23. Rodriguez-Rosell D, Mora-Custodio R, Franco-Marquez F, Yanez-Garcia JM, Gonzalez-Badillo JJ. Traditional vs. Sport-Specific Vertical Jump Tests: Reliability, Validity, and Relationship With the Legs Strength and Sprint Performance in Adult and Teen Soccer and Basketball Players. *J Strength Cond Res*. 2017;31(1):196-206. Epub 2016/05/14. doi: 10.1519/JSC.0000000000001476. PubMed PMID: 27172267.

24. Lockie RG, Schultz AB, Callaghan SJ, Jeffriess MD, Berry SP. Reliability and Validity of a New Test of Change-of-Direction Speed for Field-Based Sports: the Change-of-Direction and Acceleration Test (CODAT). *J Sports Sci Med*. 2013;12(1):88-96. Epub 2013/10/24. PubMed PMID: 24149730; PubMed Central PMCID: PMC3761765.
25. Lara B, Ruiz-Vicente D, Areces F, Abian-Vicen J, Salinero JJ, Gonzalez-Millan C, et al. Acute consumption of a caffeinated energy drink enhances aspects of performance in sprint swimmers. *Br J Nutr*. 2015:1-7. Epub 2015/08/19. doi: 10.1017/s0007114515002573. PubMed PMID: 26279580.
26. Meyers BM, Cafarelli E. Caffeine increases time to fatigue by maintaining force and not by altering firing rates during submaximal isometric contractions. *J Appl Physiol* (1985). 2005;99(3):1056-63. Epub 2005/05/10. doi: 10.1152/jappphysiol.00937.2004. PubMed PMID: 15879163.
27. Davis JK, Green JM. Caffeine and anaerobic performance: ergogenic value and mechanisms of action. *Sports Med*. 2009;39(10):813-32. Epub 2009/09/18. doi: 10.2165/11317770-000000000-00000. PubMed PMID: 19757860.
28. Retey JV, Adam M, Khatami R, Luhmann UF, Jung HH, Berger W, et al. A genetic variation in the adenosine A2A receptor gene (ADORA2A) contributes to individual sensitivity to caffeine effects on sleep. *Clinical pharmacology and therapeutics*. 2007;81(5):692-8. Epub 2007/03/03. doi: 10.1038/sj.clpt.6100102. PubMed PMID: 17329997.
29. Alsene K, Deckert J, Sand P, de Wit H. Association between A2a receptor gene polymorphisms and caffeine-induced anxiety. *Neuropsychopharmacology*.

2003;28(9):1694-702. Epub 2003/06/26. doi: 10.1038/sj.npp.1300232. PubMed PMID: 12825092.

30. Renda G, Committeri G, Zimarino M, Di Nicola M, Tatasciore A, Ruggieri B, et al. Genetic determinants of cognitive responses to caffeine drinking identified from a double-blind, randomized, controlled trial. *Eur Neuropsychopharmacol*.

2015;25(6):798-807. Epub 2015/03/31. doi: 10.1016/j.euroneuro.2015.03.001. PubMed PMID: 25819143.

**Table 1.** Age and anthropometric characteristics for AA homozygotes (n = 10) and C-allele carriers (n = 9) in the -163C>A polymorphism of the CYP1A2 gene.

<b>Variable</b>	<b>Men</b>	<b>Women</b>	<b>Total</b>
<b>Age (years)</b>			
AA homozygotes	26.5 ± 2.4	27.0 ± 5.3	26.7 ± 3.5
C-allele carriers	27.8 ± 5.6	31.0 ± 6.7	29.4 ± 6.0
<b>Body height (cm)</b>			
AA homozygotes	199.0 ± 7.4	172.3 ± 12.1	187.6 ± 16.7
C-allele carriers	186.8 ± 5.1	178.8 ± 6.1	182.8 ± 6.7
<b>Body mass (kg)</b>			
AA homozygotes	93.3 ± 8.6	70.4 ± 23.4	83.5 ± 19.2
C-allele carriers	85.6 ± 17.7	71.1 ± 7.0	78.4 ± 14.7
<b>Body fatness (%)</b>			
AA homozygotes	13.3 ± 3.3	14.2 ± 5.1	13.7 ± 3.8
C-allele carriers	10.2 ± 2.1	16.5 ± 1.3	13.3 ± 3.7
<b>Body muscle (%)</b>			
AA homozygotes	50.0 ± 7.2	47.4 ± 3.0	48.5 ± 4.8
C-allele carriers	49.2 ± 1.5	46.7 ± 1.1	47.9 ± 1.8



**Table 2.** Exercise heart rate and total number of body impacts during a 20-min simulated basketball game with the ingestion of caffeine or a placebo. Data are mean  $\pm$  SD for AA homozygotes (n = 10) and C-allele carriers (n = 9) in the -163C>A polymorphism of the CYP1A2 gene.

Variable	Placebo	Caffeine	$\Delta$ (%)	p-value	Effect size
<b>Mean jump height (cm)</b>					
AA homozygotes	39.6 $\pm$ 7.2	40.7 $\pm$ 7.3*	+2.9 $\pm$ 3.6	0.02	0.2
C-allele carriers	36.3 $\pm$ 5.9	37.2 $\pm$ 9	+2.3 $\pm$ 6.8	0.16	0.2
<b>CODAT without the ball (s)</b>					
AA homozygotes	5.91 $\pm$ 0.25	5.88 $\pm$ 0.27	-0.5 $\pm$ 4.0	0.36	0.1
C-allele carriers	5.95 $\pm$ 0.33	5.97 $\pm$ 0.38	+0.4 $\pm$ 4.0	0.37	0.1
<b>CODAT with the ball (s)</b>					
AA homozygotes	6.19 $\pm$ 0.21	6.09 $\pm$ 0.24	-1.0 $\pm$ 4.0	0.15	0.4
C-allele carriers	6.14 $\pm$ 0.35	6.14 $\pm$ 0.41	+0.0 $\pm$ 3.0	0.49	0.0
<b>Mean heart rate (bpm)</b>					
AA homozygotes	158 $\pm$ 9	160 $\pm$ 10	+1.3 $\pm$ 7.5	0.72	0.3
C-allele carriers	161 $\pm$ 13	163 $\pm$ 9	+1.2 $\pm$ 6.4	0.82	0.1
<b>Peak heart rate (bpm)</b>					
AA homozygotes	187 $\pm$ 12	188 $\pm$ 13	+0.5 $\pm$ 4.7	0.22	0.2
C-allele carriers	182 $\pm$ 7	185 $\pm$ 6	+1.6 $\pm$ 3.5	0.46	0.4
<b>Body impacts (number/min)</b>					
AA homozygotes	385 $\pm$ 54	397 $\pm$ 49*	+3.0 $\pm$ 4.8	0.05	0.2
C-allele carriers	401 $\pm$ 33	415 $\pm$ 35*	+3.3 $\pm$ 3.2	0.02	0.4

(\*) Different from placebo (p<0.05).

**Table 3.** Prevalence of side-effects in basketball players 24-h after the ingestion of caffeine or a placebo. Data are frequencies for AA homozygotes (n = 10) and C-allele carriers (n = 9) in the -163C>A polymorphism of the CYP1A2 gene.

<b>Variable</b>	<b>Placebo</b>	<b>Caffeine</b>	<b>p-value</b>
<b>Nervousness (%)</b>			
AA homozygotes	10	20	1.00
C-allele carriers	11	0	1.00
<b>Insomnia (%)</b>			
AA homozygotes	20	70	0.06
C-allele carriers	22	33	1.00
<b>Gastrointestinal complaints (%)</b>			
AA homozygotes	0	20	1.00
C-allele carriers	0	0	1.00
<b>Activeness (%)</b>			
AA homozygotes	20	30	1.00
C-allele carriers	11	11	1.00
<b>Muscle pain (%)</b>			
AA homozygotes	30	10	0.63
C-allele carriers	11	11	1.00
<b>Headache (%)</b>			
AA homozygotes	10	0	1.00
C-allele carriers	11	0	1.00



