

## **Effectiveness of nutritional supplementations with polyphenols on muscle damage and biomarkers of oxidative stress in different types of physical exercises: A review of the literature.**

## **Efectividad de la suplementación nutricional con polifenoles sobre el daño muscular y marcadores de estrés oxidativo en diferentes tipos de ejercicios físicos: Una revisión de la literatura.**

**Pedro Donadio<sup>1</sup>, Cristobal Muñoz<sup>1</sup>, Francisca Flores-Lucero<sup>1</sup>, Diego F. Garcia-Diaz<sup>2</sup>, Claudio Farias-Valenzuela<sup>3</sup>, Esteban Quezada<sup>4</sup>, Carlos Poblete-Aro<sup>4\*</sup>**

<sup>1</sup> Escuela de Ciencias de la Actividad Física, el Deporte y la Salud; Universidad de Santiago de Chile.

<sup>2</sup> Departamento de Nutrición, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

<sup>3</sup> Instituto del Deporte, Universidad de las Américas, Santiago 9170022, Chile.

<sup>4</sup> Escuela de Enfermería, Universidad Santo Tomás, Santiago, Chile.

\* Correspondence: Carlos Poblete Aro; [carlos.poblete.aro@gmail.com](mailto:carlos.poblete.aro@gmail.com)

### **ABSTRACT**

During exercise, there is a redox imbalance that increases reactive oxygen species, generating oxidative stress that favors muscle damage, affecting physical and sports performance. Different antioxidant supplements have been used to optimize muscle recovery after physical exercise. However, the effects of various antioxidants have been counterproductive, since the reactive oxygen species generated by exercise are necessary for muscle adaptation and their reduction prevents correct intracellular signaling and consequently the adaptation of skeletal muscle to exercise. Polyphenols are a type of antioxidant that are present in various fruits and herb extracts that have different characteristics depending on their structure and composition, some presenting a cell signaling pathway similar to exercise, generating different stimuli at the skeletal muscle level, being able to reduce the oxidative damage generated by exercise and even being able to enhance its effects. The aim of this literature review is to describe the effect of various polyphenols on muscle damage and biomarkers of oxidative stress on different forms of physical exercise and sports in adults.

## **KEYWORDS**

Oxidative stress; Polyphenols; Exercise; Muscle damage.

## **RESUMEN**

Durante la realización de ejercicio, existe un desbalance redox que aumenta las especies reactivas de oxígeno generando un estrés oxidativo que favorece el daño muscular incidiendo en el rendimiento físico y deportivo. Diferentes suplementos antioxidantes han sido utilizados para optimizar la recuperación muscular posterior a la realización de ejercicio físico. Sin embargo, los efectos de diversos antioxidantes han sido contraproducentes, ya que las especies reactivas de oxígeno generadas por el ejercicio son necesarias para la adaptación muscular y la disminución de éstas, impide la correcta señalización intracelular y con esto, la adaptación del músculo esquelético frente al ejercicio físico. Los polifenoles son un tipo de antioxidantes que están presentes en diversos frutos y extractos de hierbas que poseen diversas características dependiendo de su estructura y composición, presentando algunos una ruta de señalización celular similar al ejercicio físico, generando diferentes estímulos a nivel del músculo esquelético, pudiendo reducir el daño oxidativo generado por el ejercicio e incluso, pudiendo potenciar sus efectos. El objetivo de la presente revisión a la literatura es determinar y describir el efecto de diversos polifenoles en el daño muscular y marcadores de estrés oxidativo posterior a diferentes modalidades de ejercicio físico y deportes en adultos.

## **PALABRAS CLAVE**

Estrés oxidativo; Polifenoles; Ejercicio; Daño muscular.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El estrés oxidativo (EO) es un desbalance entre la producción de factores oxidantes y antioxidantes a favor de los oxidantes (Pisoschi & Pop, 2015). Entre los factores oxidantes podemos reconocer a las especies reactivas de oxígeno (EROS) y a los radicales libres (RL) (Forman, Maiorino & Ursini, 2010), mientras que los antioxidantes pueden ser enzimas tales como el superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GPX) (Ristow & Schmeisser, 2014) que permitirán la reducción completa de los RL y EROS en H<sub>2</sub>O. Por otro lado, existen antioxidantes exógenos que se pueden incorporar por medio de la dieta tales como las vitaminas y polifenoles (PF), las cuales pueden mejorar la capacidad antioxidante del plasma (Rodrigo et al., 2017).

Interesantemente, el ejercicio físico (EF), favorece un aumento en la producción de los RL y EROS, generando un EO agudo que induce daño muscular, y con esto, la generación de dolor muscular de aparición tardía (DOMS) (Bouزيد et al.,2014). Parte de las adaptaciones del músculo esquelético, son mediadas por la transducción de señales gatilladas por el EO agudo, el cual permite generar un aumento en la actividad enzimática intracelular y en la expresión génica de las enzimas antioxidantes (Gacitúa et al., 2018). Durante la contracción muscular se han descrito modificaciones en los flujos iónicos intracelulares generando cambios en el balance redox (Steinbacher & Eckl, 2015). Estos cambios pueden generar de la activación de enzimas que favorecen la producción de EROS y RL tales como la NADPH oxidasa 2 (Díaz-Vegas et al., 2015), además de la generación de RL y EROS por el aumento de la actividad mitocondrial durante la realización de EF (Hey-Mogensen et al., 2010). Las EROS permiten síntesis de proteínas asociadas a un aumento de enzimas antioxidantes y de la defensa antioxidante endógena aumentando el contenido de glutatión reducido (GSH), las cuales ayudarán a los procesos vitales del organismo. Éstas se logran por medio de la activación de PGC1- $\alpha$  y de Nrf2 a través de las EROS, particularmente el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, lo cual que permite la activación de los genes de la “Antioxidant response element” en el núcleo celular (Ristow & Schmeisser, 2014). La mejora de la defensa antioxidante estimulada por el EF permite la prevención del EO crónico, que ha sido asociado al desarrollo de patologías como la resistencia a la insulina, diabetes mellitus tipo 2, hipertensión y cáncer (De Figueiredo et al., 2015; Brito et al.,2015; Checa & Aran, 2020; Korsager Larsen & Matchkov, 2016; Espinoza, Heriquez-Olguín & Jaimovich 2016). Sin embargo, este proceso es paulatino y las EROS generadas por el ejercicio generan daño muscular, que puede ser evaluado por medio de los niveles de Creatina Quinasa (CQ) en el plasma (Bouزيد et al.,2014). Los PF son compuestos químicos orgánicos encontrados en las plantas y frutos que reducen RL y EROS, los cuales se han descrito que su uso en pacientes obesos permite combatir la condición pro-inflamatorio y pro-oxidativo asociados al exceso de grasa visceral (Le Lay et al, 2014). Algunos PF presentan rutas de señalización similares a las del EF permitiendo un aumento de las enzimas antioxidantes especialmente en el músculo esquelético (Kashi et al., 2019). Además, los PF permiten el aumento de la capacidad antioxidante total del plasma (CAP), aumentos en la actividad de enzimas antioxidantes en eritrocitos, disminución de biomarcadores de daño por EO en eritrocito y plasma tales como el malondialdehído (MDA) producido por la peroxidación lipídica de las membranas celulares, junto con la reducción de proteínas carbonilo (PC) entre otros marcadores relevantes para la evaluación del EO (Malaguti, Angeloni & Hrelia et al., 2013). Sin embargo, se ha descrito que un exceso de suplementación de antioxidantes tales como la vitamina C y la vitamina E puede inhibir las adaptaciones inducidas por el EF, disminuyendo así la actividad y contenido de enzimas antioxidantes (Gomez-Cabrera et al., 2008;

Hamid et al 2011). Los PF son variados en sus características y acciones, esto implica que tendrá un efecto diferenciado también en las diferentes manifestaciones de EF como lo son los ejercicios de fuerza, ejercicios de resistencia y los ejercicios de carácter mixto como los deportes colectivos. Bajo los datos antes mencionados, la presente revisión bibliográfica tiene por objetivo resumir la evidencia de los efectos de diferentes PF sobre el daño muscular y marcadores de EO en ejercicios de fuerza, ejercicios de resistencia y en deportes colectivos con características de metabolismo mixto en personas adultas.

## **2. EFECTO PROTECTOR DE DIVERSOS POLIFENOLES SOBRE EL DAÑO MUSCULAR Y MARCADORES DE ESTRÉS OXIDATIVO POSTERIOR A EJERCICIOS DE FUERZA Y POTENCIA**

En el trabajo de Jówko et al. (2011), con el objetivo de evaluar los efectos de una suplementación de un extracto de té verde a largo plazo, en combinación con entrenamiento de fuerza en marcadores sanguíneos de EO y daño muscular después de un ejercicio a corto plazo en hombres previamente desentrenados. Se realizó una intervención en 35 estudiantes de sexo masculino deportistas amateurs. Los participantes fueron asignados aleatoriamente en dos grupos y con doble ciego. El primer grupo compuesto por 17 participantes de  $21,5 \pm 0,3$  años, consumieron una extracción de té verde (GTV), mientras que el segundo grupo placebo (GC) lo conformaron 18 participantes de  $21,2 \pm 0,3$  edad. A cada grupo se le administró dos cápsulas por vía oral por día, de igual apariencia, durante cuatro semanas junto con ejercicios de fuerza realizados tres veces por semana. El grupo GTV consumía una cápsula con 320 mg de PF. A ambos grupos se les realizó una medición de una repetición máxima 1RM en todos los ejercicios incluidos para el estudio. Se implementó una prueba de fuerza muscular dos veces: antes (periodo I), y después de cuatro semanas de entrenamiento de fuerza y suplementación (periodo II). Al término del periodo II, las cargas se ajustaron en función de los cambios en los valores de 1-RM como resultado de cuatro semanas de entrenamiento de fuerza. El entrenamiento consistió en ocho ejercicios de fuerza para tren inferior y superior (tres series de 15 repeticiones con carga equivalente al 60% de 1RM) con pausas de un minuto por cada ejercicio y de dos a tres minutos de descanso entre series. Posterior a la intervención, no se observaron diferencias significativas en parámetros antropométricos entre ambos grupos, mientras que los resultados de cuatro semanas de entrenamiento realizando 1RM de press banca y sentadilla, mostraron un aumento significativo en la carga en ambos grupos. Posterior a la intervención, no existe diferencia significativa en la concentración plasmática de MDA a los cinco minutos de la prueba de fuerza en ambos periodos. Se observó en ambos periodos que los grupos GC y GTV presentaron una disminución significativa a

las 24 horas de recuperación luego de la prueba de fuerza. Además, en el periodo II hubo un aumento significativo en la concentración de MDA en el grupo GC, mientras que en el grupo GTV no se observaron cambios significativos. Junto con lo anterior, GTV presentó niveles significativamente menores de MDA que el grupo GC. El nivel de PF plasmáticos totales fue similar en ambos grupos al inicio del estudio. Sin embargo, al finalizar el periodo II, el grupo GTV presentó un aumento significativo de PF totales en reposo y cinco minutos post prueba. En el grupo GTV se observó un aumento significativo de la CAP en reposo en el periodo II en comparación a la etapa reposo del periodo I. La actividad de SOD tuvo una disminución significativa en la fase de reposo y post ejercicio en ambos grupos en comparación con el periodo I. Sin embargo, la actividad de SOD no cambió significativamente después de la prueba de fuerza antes y después de las 4 semanas de intervención. La prueba de fuerza, realizada en periodo I provocó un aumento significativo en CQ plasmática después de 24 horas de recuperación en comparación con la actividad en reposo y cinco minutos post prueba de resistencia. No se observaron cambios significativos en la CQ plasmática en periodo II en el grupo GTV después de la prueba de fuerza, en contraste hubo un aumento significativo de CQ plasmático después de 24 horas de recuperación en GC.

En la investigación de Jówko et al. (2015), con el objetivo de evaluar los efectos de suplemento de té verde en marcadores EO y daño de las células musculares en velocistas masculinos durante la fase preparatoria de su ciclo de entrenamiento anual. Se incorporaron a la investigación 16 velocistas masculinos universitarios de edad  $21,6 \pm 1,5$  años con una experiencia de entrenamiento  $4,4 \pm 1,4$  años, durante la fase preparatoria de su ciclo de entrenamiento. Fue un estudio de diseño cruzado, aleatorizado y doble ciego con dos periodos de tratamiento y de lavado o “wash out” de cuatro semanas. Los estudiantes fueron divididos en dos grupos, un grupo con suplementación con extracto de té verde (GTV) versus un grupo placebo control (GC). Se les administró dos cápsulas por vía oral dos veces por día. El grupo GTV tomó 980 mg por día de PF, esta dosis contiene 245 mg de PF, incluidos 200 mg de catequinas, entre ellos 137 mg de epigallocatequina-3-galato y otras sustancias adicionales. Posterior a las intervenciones de cuatro semanas, se realizó una prueba de sprint en cicloergómetro utilizando la prueba de Wingate. Se tomaron muestras de sangre capilar antes de la prueba y tres minutos después de completar la prueba, mientras que muestras de sangre venosa se obtuvieron antes de completar la prueba (en reposo), cinco minutos después de completar la prueba y después del período de recuperación de 24 horas. Posterior a la intervención, el GTV presentó un aumento significativo en los niveles de PF plasmáticos totales y en la CAP en reposo en comparación con GC. Por otra parte, hubo una disminución significativa en la actividad de SOD (en el periodo de cinco minutos y 24 horas después de la prueba de Wingate) y MDA (en el periodo de reposo y a los cinco

minutos después de la prueba de Wingate) en comparación al GC. Junto con lo anterior, el GTV presenta un aumento significativo en comparación al estado de reposo en los niveles de CAT, SOD y MDA después de la prueba de Wingate. En ambos grupos, se obtuvo una disminución significativa de MDA posterior a 24 horas en comparación a los cinco minutos, un aumento significativo de ácido úrico y CQ en 24 horas en comparación a los otros períodos o reposo, respectivamente. Sin embargo, no se observaron cambios significativos en la actividad de GPX en ninguno de los grupos mencionados. Además, no se observaron diferencias significativas en SOD en reposo y en los parámetros del rendimiento físico (como potencia, rendimiento de trabajo e índice de fatiga).

En el trabajo Herrlinger et al. (2015), el cual tenía por objetivo evaluar la eficacia de un nuevo ingrediente, una mezcla polifenólica patentada que contiene catequinas y teaflavinas, sobre el rendimiento muscular, el EO y la inflamación posterior al ejercicio. Se realizó un estudio aleatorizado doble ciego en hombres sanos entre 18 a 35 años, los cuales fueron divididos en tres grupos a los que se les administró por vía oral cápsulas de diferentes concentraciones de PF durante 12 semanas. Se utilizaron dos concentraciones de PF, uno alto de 2000 mg por día (PF-A) y uno bajo de 1000 mg por día (PF-B), los cuales se compararon con el grupo control (GC) que consumió 500 mg de celulosa microcristalina. Cada cápsula contiene una mezcla polifenólica patentada (té negro y verde extraído de la especie *Camellia Sinensis*) que contiene un mínimo de 40 % de polifenoles totales, 1,3 % de teaflavinas, 58 % de epigallocatequina-3-galato, 7-13 % de cafeína y 600 ppm de manganeso. Se realizaron pruebas físicas: ejercicio excéntrico (40 minutos de carrera cuesta abajo en cinta rodante) seguido de una evaluación de la fuerza en tren inferior (ejercicio isocinético máximo en extensiones de piernas). Además, tomaron muestras sanguíneas antes y después de cada suplementación durante la duración del protocolo. Posterior al programa de suplementación, el GC y PF-B disminuyeron significativamente su torque máximo a las horas posteriores a la prueba de fuerza en comparación a su torque máximo previo a la intervención. No hay diferencias significativas en el torque mínimo, trabajo total o índice de fatiga. En cuanto a DOMS y dolor muscular subjetivo, se observaron disminuciones significativas para el grupo PF-A a las 48 horas después de las intervenciones físicas en comparación con el GC luego de la suplementación. En los grupos PF-B se observó un aumento significativo en la CAP en comparación a los valores previos a la suplementación y al GC. Respecto a la CQ plasmática, el GC presentó un aumento significativo en los valores posteriores a las intervenciones físicas en comparación con los niveles basales. Mientras que los grupos PF-B mostraron un aumento significativo de sus valores a las 24 horas y 48 horas después de las pruebas de rendimiento en comparación a sus valores basales. Además, el GC aumentó significativamente los niveles de cortisol posteriores al ejercicio en comparación con los niveles previos al ejercicio con un pico a las 96 horas. Siendo

significativamente mayores en comparación a lo observado en el grupo PP-A. Por último, no se identificaron cambios significativos de los grupos PF-B en comparación al GC en las citocinas séricas, el 8-isoprostano, lactato deshidrogenasa (LDH) o la hormona adrenocorticotrópica después de la suplementación de 12 semanas.

En el trabajo de Beyer et al. (2017), cuyo objetivo fue examinar la respuesta al EO y hormonal después de una sesión de ejercicio de fuerza de alto volumen para la parte inferior del cuerpo realizado al final de un período de suplementación de 4 semanas. Los participantes realizaban ejercicio de forma recreativa. El diseño fue aleatorizado, doble ciego, participaron 40 hombres desentrenados entre 18 a 31. La fase I consistió en un periodo de suplementación de cuatro semanas, en donde a los participantes se les extrajo muestra de sangre antes de la suplementación (T0) y después de la suplementación (T1). Los participantes se dividieron en dos grupos, un grupo de 14 participantes suplementado con PF patentada acuoso de té de la especie *Camellia sinensis* (GPF) que contenía un mínimo de 40 % de PF totales, 1,3 % de teaflavinas, 5–8 % de epigallocatequina-3-galato, 7–13 % de cafeína, 600 ppm de manganeso contenidos en dos cápsulas de 500 mg al día y otro grupo placebo (GC) con 15 participantes. En la fase II se incluye otro grupo control (GC II) con 11 participantes que no realizó la sesión de ejercicio para ser punto de comparación entre los otros dos grupos mencionados. Durante esta fase realizaron pruebas de fuerza máxima en una sesión de alto volumen para el miembro inferior, más las tomas de muestra de sangre antes del ejercicio, inmediatamente después de la sesión (IDS), 1 hora, 5 horas, 24 horas, 48 horas y 96 horas después de la sesión de ejercicios. Finalmente, en la fase III, se llevó a cabo en seis semanas pruebas de fuerza máxima en T1 y T2 para luego contrastar sus resultados. Posterior a la fase I de suplementación de cuatro semanas, se observó un aumento en CAP del grupo con GPF en T1 en comparación a T0 y el GC T1. Además, las concentraciones de cortisol fueron significativamente mayor en T0 para el GPF en comparación con GC. Mientras que en el GC hubo un aumento significativo en T1. En fase II, se observó que las concentraciones de lactato del GPF y GC fueron significativamente mayores en comparación del GC en IDS y luego de una hora. Además, las concentraciones elevadas de mioglobina en el GPF y GC en IDS, 1 hora y 5 horas en comparación con el GC II. De la misma manera ocurrió con la concentración de CQ, en donde hubo un aumento significativo del GPF y GC en comparación al GCII en los momentos 24, 48 y 96 horas post sesión de ejercicios. Asimismo, sucedió con las concentraciones de cortisol, las cuales fueron significativamente elevadas en GPF y GC en comparación con GC II en IDS y 1 hora. Por último, también se observó un aumento significativo de la CAP en una hora del GPF y GC en comparación con GCII. Por otro lado, en la fase III no hubo diferencia significativa en el protocolo de entrenamiento de fuerza de seis

semanas tanto desde el pre entrenamiento (T1) hasta el post entrenamiento (T2). No se apreciaron diferencias significativas en el volumen de entrenamiento semanal entre el GPF y GC.

En el trabajo de Silva et al. (2018), el objetivo fue determinar el efecto de la suplementación de PF en personas no entrenadas en la aparición de DOMS y el proceso de recuperación posterior a un programa de ejercicio. Se efectuó una intervención en la cual participaron 20 hombres no entrenados, no fumadores, sin antecedentes de lesiones y que no realizan ejercicio regular. Todos los participantes completaron un protocolo de ejercicios de evaluación de la pantorrilla para inducir DOMS en los músculos tríceps sural y se tomaron muestras de sangre. La suplementación fue cápsulas de té verde (GTV) compuesto de galato de epigallocatequina (1,60 mg/g), epicatequina (1,59 mg/g), epigallocatequina (16 mg/g) y galato de epicatequina (17,80 mg/g) y cápsulas celulomax E para el GC. La suplementación duró 15 días con una dosis de 500 mg/día y se tomó una vez al día por la mañana. Durante el ejercicio, las series de elevación de pantorrillas se efectuaron hasta la fatiga voluntaria. Para todas las pruebas de fatiga, los participantes se situaron en una escalera con el peso del cuerpo apoyado en la parte anterior del pie y el talón en el espacio para permitir el rango de movimiento completo del tobillo. Las acciones musculares concéntricas y excéntricas de los músculos flexores plantares del tobillo se controlaron mediante marcadores colocados sobre el talón y la escalera con la supervisión del mismo experimentador para todos los sujetos. Se efectuó una encuesta de sensación de dolor mientras realizaban posturas inestables para el tren inferior y luego se tomaron muestras de sangre para determinar la actividad CQ y LDH. Las muestras de sangre se realizaron antes (pre), inmediatamente (IDS) y 48 horas después del ejercicio (post 48h). El DOMS no se vio afectado por la suplementación, y fue de menor puntuación en la segunda sesión de ejercicio para ambos grupos. CQ no presentó diferencias entre los grupos en pre, IDS y post 48h. Después de la suplementación, CQ no cambió en respuesta al ejercicio, pero en GTV mostró CQ más baja en todos los momentos, pre, IDS y post 48h. No se apreciaron cambios en la actividad de la LDH, en MDA, CAP, PC y en el contenido del glutatión en las medidas basales tanto pre como post intervención en ambos grupos, aunque sí se visualizó que la actividad de acetilcolinesterasa 48h después del ejercicio en el periodo basal fue mayor en GC y no difirió entre las medidas del grupo de GTV. La producción de ROS en la condición basal pre y post intervención no cambiaron en respuesta al ejercicio tanto en GC como en el de GTV, sin embargo, en la condición basal el grupo GTV mostró una mayor producción de ROS 48 h después del ejercicio.

En el trabajo de Hooper et al. (2021) el objetivo fue evaluar el efecto de la suplementación de PF en el daño muscular y marcadores de EO posterior a una sesión de ejercicios de fuerza extenuante. Participaron sujetos que realizaban ejercicios de forma recreativa y con experiencia previa de mínimo seis meses en la sentadilla trasera con barra, para un estudio de diseño cruzado y aleatorizado, en el

cual trece hombres conformaron dos grupos, el GC y el grupo suplementado. El protocolo de ejercicio de fuerza extenuante consistió en seis series de 10 repeticiones de sentadilla con barra con un 80% con dos minutos de descanso entre series de 1RM. La suplementación consistió en cápsulas de 500 mg, cuyo contenido fue un polvo de extracto de cereza ácida para un grupo (GCA) fabricado por Specnova y otro placebo (GC) una semana antes del protocolo de ejercicio de fuerza extenuante. Se realizaron diversas tomas de sangre (uno, tres, 24 y 48 horas) posterior al protocolo de ejercicio de fuerza además de evaluar el dolor muscular por escala visual. Cuando se implementó la segunda vez el protocolo de ejercicio de fuerza se realizaron las extracciones de sangre. Al finalizar el primer ciclo de prueba los participantes estuvieron en un periodo de lavado de dos semanas, en el cual no se consumió ningún suplemento y con una dieta normal. Finalizando este periodo, se realizaron las evaluaciones y toma de muestra de sangre por segunda vez con su suplemento opuesto a la inicial. Los resultados observados en las mediciones de EO en todos los grupos la CAP y el MDA no se observaron cambios significativos. Sin embargo, la CAP fue significativamente mayor posterior a una hora en el grupo GCA en comparación GC. Respecto a PC, concentraciones de CQ y CQ de la banda miocárdica (CQ-BM) indicaron un aumento significativo del GC en comparación al GCA. También hubo un aumento significativo en la fuerza de agarre para GCA en comparación con el GC en 24 horas post protocolo de ejercicio de fuerza agudo. Por último, se observó que el GCA mostró un aumento significativo en la fuerza de prensión manual en comparación al GC, sin observarse cambios significativos en la potencia de salto.

### **3. EFECTO PROTECTOR DE DIVERSOS POLIFENOLES SOBRE EL DAÑO MUSCULAR Y MARCADORES DE ESTRÉS OXIDATIVO POSTERIOR A EJERCICIOS DE RESISTENCIA**

En la investigación de Toscano et al. (2015) con el objetivo de investigar los efectos de suplementos de jugo de uva morada sobre el EO, la inflamación, la respuesta inmune, lesión muscular y mejoras en el rendimiento en corredores recreativos. Se reclutaron 28 personas corredoras de ambos géneros ( $39,8 \pm 8,5$  años), las cuales fueron divididas aleatoriamente en dos grupos. El grupo intervención fue suplementado con 10 mL/(kg x día) de jugo de uva morada de Brasil de la especie *Vitis labrusca* (GJU). Por otro lado, al GC se le administró una dosis similar, pero de una bebida artificial de carbohidratos con sabor uva. El grupo GJU incorporó 15 personas ( $42,7 \pm 8,1$  años) y el GC fue de 13 personas ( $36,3 \pm 8,0$  años), en ambos grupos hubo 11 hombres. Los participantes luego de abstenerse de 48 horas sin entrenamiento y 12 horas de ayuno realizaron extracciones de sangre, y evaluaron su estado nutricional y de sueño. Posteriormente iniciaron el periodo de suplementación de

28 días junto de un programa de ejercicio cardiopulmonar. Las evaluaciones se volvieron a realizar el día 14 y 48 horas después del día 28. Por otro lado, para medir el umbral anaeróbico y la capacidad aeróbica, se realizó una prueba de ejercicio cardiopulmonar, siguiendo el protocolo de Bruce, con cargas incrementales cada tres minutos antes y después de 24 horas del periodo de suplementación. También se llevó a cabo una prueba de esfuerzo hasta el agotamiento en cinta rodante a velocidad constante, una semana antes de la intervención y 48 horas después de la prueba cardiopulmonar. Durante la intervención no hubo cambios en sus hábitos de alimentación, peso corporal y porcentaje de grasa corporal. En el estudio no hubo resultados significativos con respecto a la concentración de MDA, para ambos grupos. En cambio, tres de las cuatro variables antioxidantes aumentaron significativamente solo en el GJU. Un aumento significativo de CAP (38%), vitamina A (12%) y ácido úrico (23%) respecto a la evaluación pre-intervención. En los marcadores de inflamación se observó una disminución significativa en los niveles alfa-1-glucoproteína ácida (AGP) para el GJU en el día 14 (-13%) y 28 (-20%) en comparación con el inicio del estudio. En cuanto a las concentraciones plasmáticas de proteína C reactiva de alta sensibilidad (PCR-AS), no se observaron diferencias significativas en ningún grupo. Los marcadores de daño muscular no mostraron ningún cambio significativo en comparación con la pre-intervención en ambos grupos. Finalmente, los efectos del GJU en las pruebas de rendimiento físico indicaron un aumento significativo en el test de agotamiento en comparación al estado basal. Sin embargo, no hubo resultados significativos en los datos de umbral anaeróbico, medido en km/h, y la capacidad aeróbica máxima.

En el artículo de Machado et al. (2018), cuyo objetivo fue determinar si la suplementación con GTE minimiza el daño muscular y el estrés oxidativo contribuyendo a la preservación de la función neuromuscular en atletas entrenados, expuestos a sesiones consecutivas de ejercicio que conducen a fatiga acumulada. Se realizó un estudio aleatorizado triple ciego de diseño experimental durante 23 días con 16 hombres sanos entrenados, aproximadamente 37 años y con participación en competencias estatales y nacionales. Éstos fueron separados en dos grupos. El primer grupo fue suplementado con té verde (GTV) y el segundo grupo con placebo (GC), ambos grupos debían consumir 500 mg al día. Cada grupo contenía ocho participantes que realizaron los mismos protocolos en un periodo de seis días. Primero, los participantes comenzaron completando una prueba máxima incremental para determinar su potencia máxima (PPO) en cicloergómetro. Posterior a los cinco días, realizaron pruebas de ciclismo submáximas con una carga constante del 60% de su potencia máxima determinada en el protocolo anterior. Luego de la evaluación, los participantes en periodo de suplementación recibieron cápsulas idénticas de té verde o placebo para ingerir por un periodo de 15 días. En los últimos tres días de suplementación, los participantes llevaron a cabo dos sesiones de ejercicios en máquina de

extensores de rodilla hasta la fatiga. Además, durante las pruebas de ciclismo submáximo mediante electromiografía de superficie se observó la actividad eléctrica neuromuscular del vasto lateral del cuádriceps antes y después de la suplementación. Los participantes de cada grupo fueron divididos en dos, en donde no realizaron las sesiones de fatiga, con el objetivo de solo realizar la prueba de ciclismo submáxima sin fatiga. Las muestras de sangre se recogieron antes y después de cada prueba submáxima de ciclismo para su análisis, en los puntos de tiempo mencionados para los sujetos que tuvieron o no fatiga. Para evaluar el daño muscular, utilizaron el marcador de CQ y se observó que los participantes del GC con condición de fatiga tuvieron niveles significativos más altos en comparación al GTV en la condición pre y post prueba submáxima de participantes sin fatiga ni suplementación. Con respecto al EO, el GC presentó un aumento significativo de MDA que el GTV en fatiga. Por otro lado, los resultados de la actividad eléctrica neuromuscular y respuestas cardiovasculares del GC más fatiga, mostraron un aumento significativo de frecuencia cardíaca (FC) y disminución significativa de actividad eléctrica neuromuscular en el vasto lateral izquierdo. Con respecto a las respuestas cardiovasculares estimadas por la FC el grupo GTV experimentó menor carga de trabajo cardíaco en comparación al GC, debido que este último hubo un aumento significativo en la FC durante el ejercicio en la condición de fatiga.

En el trabajo de Lima Tavares Toscano et al. (2019), en el cual el objetivo de este estudio fue investigar los efectos de la ingesta de una sola dosis de jugo de uva morada sobre el rendimiento físico, el EO, la inflamación y el daño muscular, junto con la fatiga en corredores recreativos masculinos sometidos a una sesión de carrera hasta el agotamiento. Se realizó una intervención de dos semanas para dos grupos de hombres con una media de edad entre los 30 a 48 años. Uno de los dos grupos recibió una suplementación de jugo de uva (GJU) y el otro grupo con una bebida placebo (GC). Al comienzo del estudio los atletas realizaron una prueba de carrera de 3200 m para estimar la capacidad aeróbica. Luego en las siguientes dos semanas se efectuaron dos pruebas físicas en las que tras dos horas después del desayuno estandarizado con la bebida experimental o placebo (10 ml/kg/día), los atletas realizaron una prueba de carrera al 80% de su  $VO_2$  máx. hasta el agotamiento. Estas pruebas presentaron una semana de separación. La intensidad de la prueba de agotamiento se utilizó un cardio frecuencímetro para controlar la FC. Se tomaron muestras de sangre antes y luego de 2 horas después de la suplementación e inmediatamente después de correr para analizar la CAP, MDA, glicoproteína ácida alfa-1 (A1GPA), PCR-AS, CQ y LDH. Respecto a la respuesta de EO, no hubo cambios en la concentración de MDA. No hubo cambios significativos en ningún momento para la respuesta inflamatoria aguda evaluada por los marcadores A1GPA y PCR-AS, como también en los valores de daño muscular evaluados por las enzimas CQ y LDH. En cuanto al rendimiento físico, se apreció una

mejora significativa por parte del GJU que fue de 9,2 minutos más largo en el tiempo medio de carrera hasta el agotamiento, lo que significó una mejora del 18,7% con una distancia recorrida 1,9 km más larga en comparación al GC.

#### **4. EFECTO PROTECTOR DE DIVERSOS POLIFENOLES SOBRE EL DAÑO MUSCULAR Y MARCADORES DE ESTRÉS OXIDATIVO EN DEPORTES COLECTIVOS DE CARACTERÍSTICAS METABÓLICAS MIXTAS**

En el trabajo de Jówko et al. (2012), el objetivo de investigación fue evaluar en jugadores de fútbol profesionales expuestos a ejercicio intenso, los efectos de una dosis única de polifenoles de té verde en marcadores de EO y daño muscular. Para este objetivo, se organizaron dos grupos de dieciséis jugadores masculinos sanos de fútbol profesional. La intervención se realizó en el período de preparación general de entrenamiento mixto (fuerza y resistencia). Ésta consistió en realizar una rutina el día que los grupos tomaran dos cápsulas de té verde (GTV) que contenía extracto de té verde estandarizado con un total de 320 mg de PF, incluidos unos 250 mg de catequinas, de los cuales unos 176 mg eran epigallocatequina-3-galato, mientras que GC consumió cápsulas sin PF. Luego de una hora y media de la administración de las cápsulas, se realizó la prueba de resistencia muscular (PRM), previo a un calentamiento. La PRM, se realizó con una carga del 60% de 1RM de tres series de dos ejercicios de fuerza (press de banca, sentadilla trasera) hasta el agotamiento. Los jugadores del grupo GTV tenían en promedio entre  $22,4 \pm 3,4$  de edad y un  $23,4 \pm 1,4$  IMC. Por otro lado, en el grupo GC los jugadores en promedio tenían  $22,9 \pm 5,5$  años, y un  $23,8 \pm 1,7$  de IMC. Los jugadores de ambos grupos tenían similares años de entrenamiento. Las muestras de sangre se obtuvieron desde la vena cubital antes de PRM (Pre-PRM), también cinco minutos después de completar la prueba de resistencia muscular, después del período de recuperación de 24 horas y 1,5 horas después de la suplementación en GTV y GC. Los resultados obtenidos en PRM, ingesta diaria y la composición de la dieta no variaron significativamente entre los dos grupos. La PRM también ascendió significativamente los parámetros medidos del equilibrio ácido-base en cinco minutos y 24 horas después de los ejercicios de resistencia en ambos grupos. Sin embargo, una sola dosis de PF de té verde ingerida antes de la prueba no afectó estos cambios. La ingesta aguda de GTV aumentó significativamente la concentración plasmática total de catequinas antes de PRM en comparación con GC. En GC, no se observaron cambios significativos en las catequinas plasmáticas después de PRM. Los resultados sobre los marcadores de estrés oxidativo presentaron un aumento significativo en las concentraciones de MDA posterior a PRM y permanecieron elevados luego en el periodo de recuperación de 24 horas en ambos grupos. En ningún

grupo se observó cambios significativos en la actividad de SOD en los eritrocitos o en el contenido de CQ en plasma.

En el trabajo de Macedo et al. (2015), en el cual el objetivo fue determinar la respuesta metabólica plasmática y de marcadores de EO en bomberos militares brasileños suplementados con resveratrol, se incorporaron al trabajo de intervención 60 jóvenes bomberos militares que fueron divididos en dos grupos. La intervención tuvo una duración de tres meses, al GC se les administró cápsulas con 100 mg de maltodextrina y el grupo intervención recibieron cápsulas de 100 mg de composición polifenólica (GPF), las cuales están compuestas de 98% trans-resveratrol puro derivado de *polygonum cuspidatum*. Se indicó a los participantes que tomarían una cápsula diaria por la mañana hasta finalizar el estudio. Además, los participantes anotaron su ingesta dietética en los tres días anteriores a la extracción de sangre. La ingesta energética total fue de 2800 kcal/día. Las muestras de sangre se recolectaron la mañana entre las ocho y las 11 horas, tras la ingesta de su primera comida (desayuno) inmediatamente antes y después de la realización de la prueba de aptitud física (PAF). El PAF es un protocolo utilizado por la Policía Militar de São Paulo, que consiste en cuatro ejercicios realizados en secuencia: (1) chin-up en un minuto, (2) abdominales un minuto, (3) prueba de velocidad 50 metros de sprint; (4) ejercicio aeróbico: correr durante 12 minutos (prueba de Cooper). La obtención de muestras de sangre se realizó en 4 oportunidades: T1, antes de la suplementación y antes de PAF; T2, antes de la suplementación y después de PAF; T3, después de la suplementación (GPF o GC) y antes de la PAF; T4, después de la suplementación y después de la PAF. Los resultados dieron a conocer que los niveles de CQ y ácido úrico (AU) fueron significativamente más altos después del PAF tanto antes como después en GPF y GC. Los resultados mostraron que el PAF promovió un aumento significativo de CAP tanto en GC como en GPF. En cuanto a los niveles de LDH en plasma, se observó un aumento inicial después del PAF en pre y post-ejercicio antes de la suplementación en comparación GC, pero luego de 90 días de la suplementación con GPF no se observó diferencias significativas luego del PAF. Respecto al daño inducido por el EO, no se observaron alteraciones en los grupos tiol del plasma, en los niveles 8-isoprostano y de 80 HdG entre los grupos antes o después del PAF. Las actividades máximas de las enzimas antioxidantes como SOD total, la CAT y el glutatión reductasa no se alteraron en ninguno de los dos grupos, ni antes ni después del PAF. La actividad de GPX se redujo significativamente en GPF en comparación con GC, tanto antes como después del tratamiento.

En la investigación de Hadi et al. (2017), cuyo objetivo fue determinar el efecto de la suplementación con té verde y extracto de té agrio en marcadores de EO y factores de daño muscular en jugadores de fútbol, realizaron un programa de intervención con suplementación durante seis

semanas para 54 jugadores de fútbol masculino. Los participantes fueron divididos, aleatoriamente, en tres grupos. Los grupos de las cápsulas de extracto de té verde (GTV) y cápsulas de extracto de té ácido (GTVa) contenían 450 mg. El otro grupo consumía cápsulas de placebo (GC). En total hubo 49 participantes: 16 en el grupo GTV, 17 en el grupo GTVa y 16 en el grupo placebo. Todos los jugadores tomaban una cápsula todos los días, dos horas después del almuerzo. Los resultados de las medidas antropométricas en todos los grupos no fueron significativamente diferentes entre ellas, tampoco en su dieta y su nivel de actividad física. Aquellos que tomaron extracto de té como suplemento presentaron niveles significativamente menores en MDA en comparación al GC. Otra observación fue que el GTVa tuvo un aumento significativo en la CAP en comparación con GTV y GC. Además, solo GTVa después de seis semanas de intervención tuvo una disminución significativa de LDH en comparación a sus valores pre-intervención. Finalmente, ninguno de los tres grupos tuvo efectos significativos favorables para aspartato aminotransferasa y daño muscular después de la suplementación.

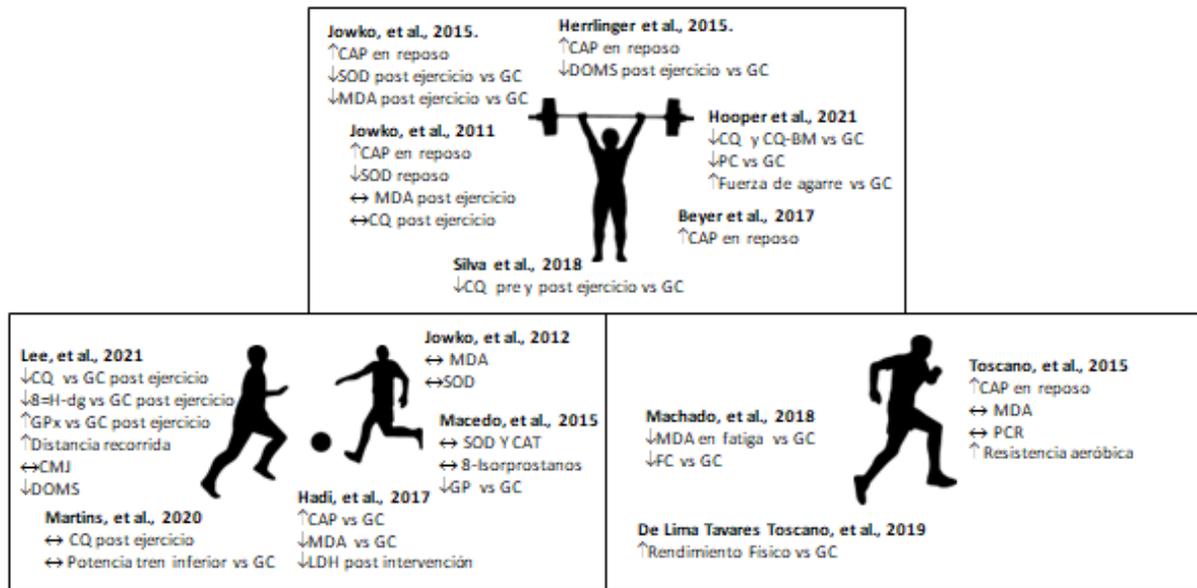
En el artículo de Martins et al., 2020, en el cual el objetivo fue evaluar los posibles efectos del consumo de jugo de uva morada en atletas de voleibol masculino antes y después del partido simulación en marcadores de EO e inflamación. Participaron 12 atletas de voleibol de edad  $16,5 \pm 0,6$  años. Los deportistas realizaron tres simulaciones de partidos del deporte mencionado, cada uno de tres sets, en un estudio de diseño cruzado. Durante la fase de entrenamiento de los atletas, el objetivo fue mantener la misma carga para preservar el rendimiento de la temporada anterior. Antes de la suplementación, se realizó primero una simulación de un partido de voleibol con todos los jugadores, para después ser aleatorizados en dos grupos. Unos fueron intervenidos con jugo de uva (GJU) de la especie *Vitis Labrusca Bordeaux* con 66 g de carbohidratos y el otro sin PF (GC). Los deportistas recibieron diariamente 400 mL/día en envase de tetrapack durante 14 días para luego jugar una segunda simulación de partido. Posteriormente, los atletas debieron abstenerse de las bebidas designadas para que el estudio estuviese en un periodo de lavado de 14 días. Finalmente, a los grupos se le intercambiaron las intervenciones, es decir, los que tomaban jugo de uva ahora tomaban placebo y viceversa para después jugar el último partido de simulación. Antes e inmediatamente después de cada partido se tomaron muestras sanguíneas para analizar indicadores de EO, inflamación, daño muscular, niveles globales de acetilación de la histona H4 y niveles de fuerza muscular. En cuanto los resultados, hubo una disminución significativa en MDA, en la intervención con GJU (-50%) después del partido de simulación. Además, el grupo GJU presentó valores significativamente menores de PC en comparación al GC en la previa a la simulación del partido. Por otro lado, en el daño de ADN inducido por ROS, hubo una disminución significativa (-14,9%) en la comparación de post y pre-partido en la intervención del GJU. Además, los efectos de daño muscular, evaluado con CQ-NAC, solo mostró un

aumento significativo (31%) en el grupo placebo después de la simulación del partido de voleibol, mientras que en GJU no se observaron valores significativos. En cuanto a los valores de las enzimas antioxidantes, la actividad de SOD y CAT no obtuvieron efectos significativos en ninguna intervención mencionada con anterioridad. También, los efectos sobre la acetilación global de la histona H4 solo hubo una disminución significativa (-59,1%) en la intervención control después del partido de simulación. Por último, los niveles de fuerza muscular, mediante el test agarre de mano, y la potencia de los miembros inferiores evaluado mediante el test salto vertical no indicaron diferencia significativa del GJU con GC.

Respecto a jóvenes de la universidad deportiva nacional de Taiwán el artículo Lee et al. (2021), cuyo objetivo fue determinar los efectos de la suplementación con extracto de verbena en la reducción del daño oxidativo, muscular y en la aceleración de la recuperación de la fuerza muscular en humanos. Se reclutaron 60 sujetos, 30 hombres y 30 mujeres, entre los 20 a 30 años de edad, para evaluar los efectos de un suplemento de extracto de hierba luisa Planox® (LVE). Los participantes fueron divididos en dos grupos de forma aleatoria, en un grupo control (GC) al que se le administró 0 mg/día de LVE y otro grupo de suplementación al que se le administró 400 mg/día de LVE (GPF). Ambos grupos fueron distribuidos equitativamente por sexos. La administración de suplementación comenzó antes de la intervención, durante 10 días, y ejercicio muscular exhaustivo (EME) después de que se les pidiera un ayuno de ocho horas. A continuación, a las tres, 24, 48 y 72 horas después del EME, todos los sujetos fueron sometidos de nuevo a diversas pruebas biomecánicas y bioquímicas sanguíneas para observar los efectos y cambios en diferentes puntos de tiempo. El protocolo de EME consiste en una carga excéntrica máxima de la extremidad inferior, en el cual se realizaron un total de 100 saltos de contramovimiento en 10 series de 10 saltos cada cuatro segundos, con 60 segundos de descanso entre series. Al final de la prueba, se utilizó la escala de esfuerzo percibido de Borg (EEPB) para obtener el nivel de fatiga percibido. La prueba de carrera/caminata de Cooper de 12 minutos se realiza con un método inicial sencillo, el tiempo se registra desde el inicio de la carrera, y la distancia recorrida se registra cada tres minutos (minutos tres, seis, nueve y 12). Por último, la evaluación del salto en contramovimiento (CMJ) fue utilizada para medir la velocidad máxima, la fuerza y la fuerza explosiva de los miembros inferiores y se realizó antes, 24 y 48 horas después del EME. Los efectos vistos del ejercicio exhaustivo sobre el dolor muscular se midieron en cuádriceps medial y lateral. Tanto el cuádriceps medial como el lateral, a las 48 horas del ejercicio exhaustivo, la tensión muscular era significativamente mayor en GC que GPF. Al transcurso de tres horas después de EME, la rigidez muscular en el cuádriceps medial y lateral fue significativamente mayor en el GC sobre el GPF. Sin embargo, no se apreció un efecto significativo sobre la elasticidad muscular en ambos grupos. El

DOMS que aparecía a las 48 y 72 horas después del EME del músculo cuádriceps medial fue significativamente menor en el GPF que en GC, y en el músculo cuádriceps lateral, el dolor muscular fue significativamente menor en GPF que en GC a las 24, 48 y 72 horas después del ejercicio exhaustivo. Los resultados reflejaron que en la prueba de carrera de Cooper de 12 minutos antes y después de la intervención no hubo diferencias significativas entre los grupos. Sin embargo, tras comparar los valores pre y post intervención se observó que en los cambios de la distancia recorrida entre la medición de tiempo tres, seis, nueve y 12 minutos el grupo de suplemento LVE fueron significativamente mayor al GC a los minutos seis, nueve minutos y 12 minutos. En la prueba CMJ la fuerza de salto disminuyó 24 horas después de EME y se recuperó gradualmente después de 48 horas. Sin embargo, no se apreciaron diferencias significativas entre los grupos. En cuanto al efecto de la recuperación de la fuerza muscular máxima isométrica no hay diferencia significativa en GPF en comparación con GC. El valor de la CQ de la lesión muscular inducida por EME no se apreció diferencias significativas entre los dos grupos antes del EME. Sin embargo, a las tres, 24 y 48 horas después de EME, la CQ fue significativamente mayor en GC que en GPF. Ante la inflamación y los niveles antioxidantes antes del EME, no hubo diferencias significativas en la IL-6 sérica entre GC y GPF. Al transcurso de 48 horas después del ejercicio, el nivel de IL-6 en suero fue significativamente mayor en GC que en GPF. Aunque no hubo diferencias significativas en la GPX entre los grupos antes del ejercicio, luego de disminuir ligeramente y al recuperarse esta seguía siendo significativamente más alta en GPF en comparación al GC a las tres y 48 horas después del ejercicio. Además, en las comparaciones intragrupo, sólo presentaron diferencias significativas antes y tres horas después del ejercicio. El análisis de orina realizado 24 horas después del ejercicio exhaustivo mostró niveles significativamente menores de 8-OHdG en GPF versus el GC. En las muestras sanguíneas, la glucosa sérica, aspartato transaminasa (AST), aminotransferasa (ALT) y LDH en los diferentes puntos temporales no fueron significativamente diferentes entre GC y GPF respectivamente.

**Figura 1.** Resumen de los principales resultados.



\*CAP: Capacidad antioxidante del plasma. CMJ: Salto contra movimiento. CQ: Creatin Quinasa. CQ-BM: Creatin Quinasa de banda miocárdica. DOMS: Dolor tardío post ejercicio. FC: Frecuencia Cardíaca. GPx: Glutatión peroxidasa. GC: Grupo control. DOMS: Delays onset muscle soreness. LDH: Lactato Deshidrogenasa. MDA: Malondialdehído. PC: Proteínas carbonilo. PCR: Proteína C reactiva. SOD: Superóxido Dismutasa. ↑: Aumento significativo. ↓: Disminución significativa. ↔: Sin cambio significativo. 8=H-dg: 8-Hidroxideoxiguanosina.

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. Efecto protector de diversos polifenoles sobre el daño muscular y marcadores de estrés oxidativo posterior al ejercicio en adultos en ejercicios de fuerza

Se observó en los resultados analizados diversos efectos de los diversos PF en el daño muscular inducido por el ejercicio. En el artículo de Hooper et al. (2021), se observó que un suplemento de 500 mg de CGA disminuye el PC, CQ y CQ-BM. De igual modo se observó también en el estudio de Jowko et al. (2011) un efecto protector frente a los aumentos de CQ post-intervención en 24 horas con una dosis de 320 mg de té verde. Sin embargo, inmediatamente después y una hora post-intervención en CQ-BM y CQ, respectivamente, no se observó ningún resultado significativo en Hooper et al. (2021). Mientras que en da Silva et al., (2018) con una dosis de 500 mg (por un tiempo de suplementación de 15 días), los grupos GTV en comparación al GC presentaron una disminución del daño muscular, el cual fue medido mediante CQ. Por otra parte, Jowko et al. (2011) no observó un efecto significativo de PF para la reducción de CQ después del EF. Obteniendo una relación entre ambos artículos sobre el efecto protector post-intervención generada por una dosis baja de suplementación de PF. Por otro

lado, no se observó un efecto protector post-intervención en los siguientes artículos, Herrlinger et al. (2015) (dosis de 1000 y 2000 mg), Jowko et al. (2015) en deportistas (dosis de 980 mg) y Beyer et al. (2017) (dosis de 2000 mg). Todos estos estudios utilizaron suplementos de extracto de té verde con una dosis alta en comparación a los artículos que obtuvieron un efecto protector con extracto de té o cereza ácida.

Cabe destacar que en los artículos en los cuales se observó una disminución en marcadores de daño muscular, presentaron tiempos de suplementación de entre dos semanas a cuatro semanas, en contraste a los artículos que no presentaron un efecto protector variaron entre seis semanas a 12 semanas de suplementación. Esto se puede justificar debido a que se ha observado que ciertos PF generan un efecto pre condicionante (Huang et al., 2019), que se asocia a la generación de un EO agudo que induce adaptación. Sin embargo, también se ha observado que los antioxidantes scavengers disminuyen la adaptación inducida por el ejercicio (Gómez-Cabrera et al, 2008), en la generación y adaptación de la defensa antioxidante endógena. Los componentes del té pueden ser diversos, y con resultados que pueden contrastar entre sí. Además, al igual que los fármacos, los PF puede presentar tiempos de adaptación y “down-regulation” cuando se observa un tratamiento de larga duración, esto puede explicar el motivo por el cual los protocolos de suplementación de corta duración presentaron mejoras significativas al contrario de la suplementación de larga duración (Paulsen et al., 2014)

En cuanto a los marcadores de EO, se logró observar que la mayoría de los artículos describen una mayor CAP, luego del consumo de la suplementación de PF. En general en los artículos analizados se obtuvo un aumento significativo de CAP (Beyer et al., 2017; Hooper et al., 2021; Jowko et al., 2015) en comparación del GC, al igual se vio un aumento significativo de CAP (Beyer et al., 2017; Hooper et al., 2021; Herrlinger et al., 2015). Importante señalar, que, en Beyer et al., (2017) y en Herrlinger et al., (2015) las capsulas suministradas contenían polifenoles y manganeso (Mn), micronutriente clave para la activación de SOD dependiente de Mn en la mitocondria, haciendo que sus resultados podrían haber estado influenciados por este efecto. Con respecto a SOD, (Jowko et al., 2011; Jowko et al., 2015) hubo una disminución significativa del GTV en comparación al GC. En cuanto al artículo Hooper 2021 se logró observar que el GC, GCA y GPL no obtuvieron resultados significativos de CAT y MDA. Este resultado puede deberse a la breve intervención del suplemento en el estudio. A su vez en Jowko et al., (2015) se puede apreciar en el GTV en comparación al GPL una disminución significativa de MDA y SOD debido a la baja presencia de daño por parte de sus participantes. Por último, en el artículo de da Silva et al. (2018) se muestra que los valores de MDA se mantuvieron en ambos grupos, aunque sí se observó un aumento en los valores de ROS en 48 horas post-intervención en el GTV en comparación al GC. En cuanto a los valores de CAP no presentó cambios significativos.

La CAP, puede mostrar aumentos con el ácido úrico, que va acompañado de un anión superóxido, siendo un factor pro-oxidante de relevancia y una EROS, el cual es indicio de aumento de daño oxidativo (Forman et al., 2010). Esto genera que el resultado positivo de CAP se contraponga al aumento de ácido úrico.

Bajo los criterios evaluados en los niveles de la CAP, fueron un resultado esperado el aumento en la presencia de antioxidantes y también por su capacidad total por parte de los grupos que fueron suplementados con PF (Pisoschi & Pop, 2015). En efecto, cuando existe presencia de vitaminas conocidos como “scavengers” tales como, la vitamina C y E, pueden alterar los resultados en cuanto a la concentración total de antioxidantes en plasma (Rodrigo et al., 2008).

Respecto al DOMS y otros *outcomes* relevantes se apreció que tanto en Hooper et al., (2021) como Herrlinger et al., (2015) y da Silva et al. (2018) no hubo valores significativos en percepción del dolor entre los grupos. Por otra parte, en Hooper et al., (2021) hubo un aumento significativo de la fuerza de agarre del GCA en comparación GC y en Herrlinger et al., (2015) el GC en comparación al PPA hubo una disminución significativa del torque máximo. Por otra parte, los estudios de Jowko et al., (2015) y Beyer et al., (2017) no registraron valores significativos en las variables de rendimiento analizadas.

El plan de intervención de ejercicio físico apuntaba a mejorar la capacidad de fuerza de los grupos y junto a una suplementación de PF pueden significar una mejora en el rendimiento, como se vio en Hooper et al., (2011), Herrlinger et al., (2015) y Hawley, et al., (2014). Lo que es de cuidado, es el tipo de PF que se utiliza para este tipo de estudios que buscan ver resultados en el rendimiento, se ha descrito que hay una gran variedad de PF y por otra parte aquellos que son implementados en estos planes de entrenamiento son manipulados lo que puede significar una variabilidad en los resultados.

## **5.2. Efecto protector de diversos polifenoles sobre el daño muscular y marcadores de estrés oxidativo posterior a ejercicio de resistencia**

En los artículos analizados de entrenamiento o ejercicio de resistencia se puede observar que gran parte de los artículos se intervino con personas que realizaban ejercicio de forma recreativa (Toscano et al., 2015; de Lima Tavares et al., 2019). En contraste, el en trabajo de Machado et al. (2018) que trabajan con deportistas, los cuales fueron sometidos a pruebas de resistencia muscular hasta el agotamiento. Por otro lado, de Lima Tavares Toscano et al. (2019) presentaron resultados con efectos agudos en corredores masculinos recreativos.

En el apartado de daño muscular se observó que sólo un artículo presentó un efecto protector ante esta variable, Machado et al., (2018) con una dosis de 500 mg en un periodo de administración de 23 días. Por otra parte, los artículos restantes de Toscano et al. (2015) (10 ml por 28 días) y Tavares el

al. (2019) (diez ml por dos semanas) no presentaron efectos protectores en su condición y/o comparación general entre el grupo administrado con PF y GC.

En los estudios se destaca principalmente la diferencia en la administración de la dosis que aplicaron durante la intervención entre aquellos estudios que sí presentaron un factor protector ante los que no. En los estudios de Toscano et al., (2015) y de Lima Tavares Toscano et al., (2019) utilizaron medidas específicas en la administración en la dosis, a diferencia de Machado et al., (2018). Siendo un factor importante el tipo de suplementación que se utiliza, como por ejemplo los antioxidantes “scavengers” que han demostrado generar una alteración en la cantidad y actividad de enzimas antioxidantes, reduciendo ciertos efectos protectores generados por el ejercicio (Paulsen et al., 2014). Por esta razón el tipo de PF en administrar puede significar una variabilidad en los resultados en las investigaciones.

En los trabajos de Toscano et al., (2015) y de Lima Tavares Toscano et al., (2019) sobre marcadores de estrés oxidativo, mostraron un aumento en los valores de CAT post vs pre-intervención. Por otra parte, en Machado et al. (2018) se apreció que GC tuvo mayores valores de MDA en comparación al GTV. En relación con los DOMS y/o otros *outcomes* relevantes en Toscano et al. (2015), se observó que no hubo diferencias significativas entre GTV en comparación al GC. Por otro lado, si se pudo apreciar un efecto protector en el artículo de Machado et al. (2018) en donde el GTV en comparación al GC tuvo una disminución de valores significativa respecto al trabajo cardiaco. Al igual Tavares et al. (2019) mostró un aumento significativo en el rendimiento físico en el GJU en comparación al GC.

Machado et al. (2018) trabajó con deportistas que participaban en competiciones orientadas a la alta resistencia, por lo que el tipo de intervención física se enfocó a trabajar según el contexto de los participantes. En contraste a las investigaciones de Toscano et al. (2015) y de Lima Tavares Toscano et al. (2019) en donde los sujetos de estudio fueron personas que realizaban ejercicio de forma recreativa. Las diferencias en la condición física de un sujeto entrenado versus un no entrenado generarán un estado redox basal y post ejercicio diferente entre cada población (Bogdanis et al. 2013) por lo tanto, se necesitarán diferentes requerimientos de suplementación de PF. Además, considerando los diferentes requerimientos energéticos entre sujetos entrenados o no entrenados, y tipo de prueba física a realizar, en un estudio con un nivel de menor exigencia, este va a presentar un menor requerimiento a nivel celular en el músculo esquelético, y por lo tanto una menor tasa de producción de EROS (Merry & Troy, 2016).

### **5.3. Efecto protector de diversos polifenoles sobre el daño muscular y marcadores de estrés oxidativo en deportes colectivos posterior a ejercicios de metabolismo mixto**

En el apartado de daño muscular se aprecia que en el artículo de Lee et al. (2021), existe un efecto protector en el grupo suplementado con polifenoles en comparación al GC respecto al marcador CQ y GPX. En cambio, en el artículo de Martins et al. (2020) que, similar al anterior, presenta un valor significativamente menor de CQ el grupo suplementado con polifenoles en comparación al GC. También se observó un aumento significativo en CQ-NAC en el GC a diferencias del GJU que no presentó valores significativos en CQ-NAC. No se apreciaron valores significativos de efecto protector en GTV en comparación al GC en el artículo de Hadi et al. (2017) y Macedo et al. (2015), en los cuales se vio un aumento significativo de CQ posterior a los dos periodos de intervención en GPF.

En cuanto a biomarcadores de EO en el artículo de Hadi et al. (2017) como en el de Martins et al. (2020) se observó un efecto protector. En el estudio de Hadi et al. (2017) el grupo GTV disminuyó significativamente los valores de MDA. Por otra parte, el GTV presentó un aumento significativo de CAT en comparación al GTV y GC. En comparación a lo mencionado por Martins et al. (2020) donde se apreció una disminución significativa de MDA y PC. En contraste, los artículos de Macedo et al. (2015) presentan un aumento significativo de FRAP en el GPF, mientras que en los estudios de Lee et al. (2021) existió un aumento de los valores en la presencia de IL-6 a las 48 horas post intervención en el GPF. Es de destacar que una de las diferencias claras entre los estudios que obtuvieron un efecto protector fue que se intervinieron en grupos deportivos, los cuales realizaban su sesión de entrenamiento en paralelo con el plan del estudio.

Junto con la condición redox basal de cada individuo, que será diferente en base a su condición física (Bogdanis et al.2012) se debe considerar las múltiples funciones que pueden generar los PF en sujetos entrenados y no entrenados, ya que los PF cumplen diferentes funciones frente a EROS, como dividir cadenas de radicales peróxidos, radicales alquilos, entre otros, lo que puede modificar la ruta de señalización celular de las ARE (Feng et al.,2017; Teixeira-Lemos et al., 2011)

Como último apartado en cuanto a DOMS y/o otros *outcomes* relevantes, en el artículo de Lee et al. (2021) se observó un aumento significativo en el rendimiento con respecto a la distancia recorrida por GPF en comparación al GC. También en comparación de GC a GPF se presentaron aumentos en la tensión y rigidez muscular del cuádriceps. Por otra parte, no se lograron apreciar diferencias significativas entre grupos en las variables de actividad física en el artículo de Hadi et al., (2017), así mismo, en el estudio de Martins et al. (2020) respecto a la presión manual y potencia de miembros inferiores. Como punto de cierre el artículo de Macedo et al. (2015) no se presentaron datos anteriores

de los bomberos militares respecto a los valores de rendimiento físico, por lo que no se pudo realizar una comparación de datos. En el estudio de Lee et al. (2021) se utilizó un plan de entrenamiento enfocado en el aumento del rendimiento para mejorar una mayor carga excéntrica máxima de la extremidad inferior. Este tipo de intervención estaba enfocada en aumentar el trayecto de recorrido y se ha visto que el ejercicio por sí solo puede generar mejoras en la funcionalidad de diversos sistemas y funciones biológicas (Hawley et al., 2014; Korsager Larsen et al., 2016). Por otra parte, la falta de información específica sobre la metodología como el tiempo de suplementación y/o intervención limita su utilización en otras áreas. Si bien se observaron resultados positivos a la asociación entre la ingesta de PF en conjunto con un programa de ejercicio físico, esta puede variar en base al tipo o cantidad de ingesta de PF suplementado y/o propuesta de intervención implementada.

Uno de los datos más relevantes de este estudio fue la variable efecto-tiempo en cuanto al tipo de población intervenida. Se observó que en intervenciones de corta duración solo se vio efectos significativos en sujetos que realizaban ejercicio físico de forma recreativa, mientras que en intervenciones de larga duración solo se logró apreciar resultados significativos en personas deportistas o con experiencia en el entrenamiento físico. Estos resultados también se evidencian en deportes de equipo (Jowko et al., 2012) en donde se midieron los efectos agudos en futbolistas profesionales y no se encontró diferencias significativas.

## **6. CONCLUSIÓN**

Los PF pueden mejorar la defensa antioxidante y disminuir marcadores de daño por EO y de daño muscular en diversos protocolos de ejercicio, además de mejorar ciertos parámetros asociados al rendimiento. Sin embargo, presentan una capacidad limitada para este fin. Existen diversos factores que contribuyen a estos resultados, como, por ejemplo, el tiempo de suplementación, la dosis y el tipo de PF suplementados, además del tipo de ejercicio y tiempo de duración del programa de entrenamiento. Son necesarios más estudios para poder establecer de mejor forma el tipo de PF a suplementar, el tiempo de suplementación y la dosis adecuada para disminuir el daño muscular asociado al EO inducido por el EF, sin alterar las adaptaciones musculares inducidas por este.

## **7. AGRADECIMIENTOS**

A la licenciada en artes plásticas Priscila Villagra Agüero por la confección y diseño de las imágenes utilizadas en este trabajo.

## 8. REFERENCIAS

1. Abd Hamid, N. A., Hasrul, M. A., Ruzanna, R. J., Ibrahim, I. A., Baruah, P. S., Mazlan, M., Wan Ngah, W. Z. (2011). Effect of vitamin e (Tri E®) on antioxidant enzymes and DNA damage in rats following eight weeks exercise. *Nutrition Journal*, *10*(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-10-37>
2. Beyer, K. S., Stout, J. R., Fukuda, D. H., Jajtner, A. R., Townsend, J. R., Church, D. D., Hoffman, J. R. (2017). Impact of polyphenol supplementation on acute and chronic response to resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(11), 2945–2954. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002104>
5. Bogdanis, G. C., Stavrinou, P., Fatouros, I. G., Philippou, A., Chatzinikolaou, A., Draganidis, D., ... Maridaki, M. (2013). Short-term high-intensity interval exercise training attenuates oxidative stress responses and improves antioxidant status in healthy humans. *Food and Chemical Toxicology*, *61*, 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.05.046>
6. de Lima Tavares Toscano, L., Silva, A. S., de França, A. C. L., de Sousa, B. R. V., de Almeida Filho, E. J. B., da Silveira Costa, M., Marques, A. T. B., da Silva, D. F., de Farias Sena, K., Cerqueira, G. S., & da Conceição Rodrigues Gonçalves, M. (2020). A single dose of purple grape juice improves physical performance and antioxidant activity in runners: a randomized, crossover, double-blind, placebo study. *European Journal of Nutrition*, *59*(7), 2997–3007. <https://doi.org/10.1007/s00394-019-02139-6>
7. Brito, R., Castillo, G., González, J., Valls, N., & Rodrigo, R. (2015). Oxidative stress in hypertension: Mechanisms and therapeutic opportunities. *Experimental and Clinical Endocrinology and Diabetes*, *123*(6), 325–335. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1548765>
8. Checa, J., & Aran, J. M. (2020). Reactive oxygen species: Drivers of physiological and pathological processes. *Journal of Inflammation Research*, *13*, 1057–1073. <https://doi.org/10.2147/JIR.S275595>
9. da Silva, W., Machado, Á. S., Souza, M. A., Mello-Carpes, P. B., & Carpes, F. P. (2018). Effect of green tea extract supplementation on exercise-induced delayed onset muscle soreness and muscular damage. *Physiology and Behavior*, *194*(2017), 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.05.006>
10. De Figueiredo, A. S. P., Salmon, A. B., Bruno, F., Jimenez, F., Martinez, H. G., Halade, G. V., El Jamali, A. (2015). Nox2 mediates skeletal muscle insulin resistance induced by a high fat diet. *Journal of Biological Chemistry*, *290*(21), 13427–13439. <https://doi.org/10.1074/jbc.M114.626077>
11. de Lima Tavares Toscano, L., Silva, A. S., de França, A. C. L., de Sousa, B. R. V., de Almeida Filho, E. J. B., da Silveira Costa, M., ... da Conceição Rodrigues Gonçalves, M. (2020). A single dose of purple grape juice improves physical performance and antioxidant activity in runners: a randomized, crossover, double-blind, placebo study. *European Journal of Nutrition*, *59*(7), 2997–3007. <https://doi.org/10.1007/s00394-019-02139-6>
12. Díaz-Vegas, A., Campos, C. A., Contreras-Ferrat, A., Casas, M., Buvinic, S., Jaimovich, E., & Espinosa, A. (2015). ROS production via P2Y1-PKC-NOX2 is triggered by extracellular ATP after electrical stimulation of skeletal muscle cells. *PLoS ONE*, *10*(6), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129882>

13. Espinosa, A., Henríquez-Olguín, C., & Jaimovich, E. (2016). Reactive oxygen species and calcium signals in skeletal muscle: A crosstalk involved in both normal signaling and disease. *Cell Calcium*, 60(3), 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.ceca.2016.02.010>
14. Feng, X., Yu, W., Li, X., Zhou, F., Zhang, W., Shen, Q., ... Shen, P. (2017). Apigenin, a modulator of PPAR $\gamma$ , attenuates HFD-induced NAFLD by regulating hepatocyte lipid metabolism and oxidative stress via Nrf2 activation. *Biochemical Pharmacology*, 136, 136–149. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2017.04.014>
15. Forman, H. J., Maiorino, M., & Ursini, F. (2010). Signaling functions of reactive oxygen species. *Biochemistry*, 49(5), 835–842. <https://doi.org/10.1021/bi9020378>
16. Gacitua, T., Karachon, L., Romero, E., Parra, P., Poblete, C., Russell, J., & Rodrigo, R. (2018). Effects of resistance training on oxidative stress-related biomarkers in metabolic diseases: a review. *Sport Sciences for Health*, 14(1). <https://doi.org/10.1007/s11332-017-0402-5>
17. Gomez-Cabrera, M. C., Domenech, E., Romagnoli, M., Arduini, A., Borrás, C., Pallardo, F. V. Viña, J. (2008). Oral administration of vitamin C decreases muscle mitochondrial biogenesis and hampers training-induced adaptations in endurance performance. *American Journal of Clinical Nutrition*, 87(1), 142–149. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.1.142>
18. Hadi, A., Pourmasoumi, M., Kafeshani, M., Karimian, J., Maracy, M. R., & Entezari, M. H. (2017). The Effect of Green Tea and Sour Tea (*Hibiscus sabdariffa* L.) Supplementation on Oxidative Stress and Muscle Damage in Athletes. *Journal of Dietary Supplements*, 14(3), 346–357. <https://doi.org/10.1080/19390211.2016.1237400>
19. Hawley, J. A., Hargreaves, M., Joyner, M. J., & Zierath, J. R. (2014). Integrative biology of exercise. *Cell*, 159(4), 738–749. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.10.029>
20. Herrlinger, K. A., Chirouzes, D. M., & Ceddia, M. A. (2015). Supplementation with a polyphenolic blend improves post-exercise strength recovery and muscle soreness. *Food and Nutrition Research*, 59. <https://doi.org/10.3402/fnr.v59.30034>
21. Hey-Mogensen M, Højlund K, Vind BF, et al. (2010). Effect of physical training on mitochondrial respiration and reactive oxygen species release in skeletal muscle in patients with obesity and type 2 diabetes. *Diabetologia*, 53, 1976-1985. <https://doi.org/10.1007/s00125-010-1813-x>
22. Hooper, D. R., Orange, T., Gruber, M. T., Darakjian, A. A., Conway, K. L., & Hausenblas, H. A. (2021). Broad Spectrum Polyphenol Supplementation from Tart Cherry Extract on Markers of Recovery from Intense Resistance Exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00449-x>
23. Huang, H., Lai, S., Luo, Y., Wan, Q., Wu, Q., Wan, L., ... Liu, J. (2019). Nutritional preconditioning of apigenin alleviates myocardial ischemia/reperfusion injury via the mitochondrial pathway mediated by Notch1/Hes1. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7973098>
24. Jówko, E., Długołęcka, B., Makaruk, B., & Cieśliński, I. (2015). The effect of green tea extract supplementation on exercise-induced oxidative stress parameters in male sprinters. *European Journal of Nutrition*, 54(5), 783–791. <https://doi.org/10.1007/s00394-014-0757-1>
25. Jówko, E., Sacharuk, J., Balasińska, B., Ostaszewski, P., Charnas, M., & Charnas, R. (2011). Green tea extract supplementation gives protection against exercise-induced oxidative damage

- in healthy men. *Nutrition Research*, 31(11), 813–821. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2011.09.020>
26. Jówko, E., Sacharuk, J., Balasinska, B., Wilczak, J., Charmas, M., Ostaszewski, P., & Charmas, R. (2012). Effect of a single dose of green tea polyphenols on the blood markers of exercise-induced oxidative stress in soccer players. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 22(6), 486–496. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.22.6.486>
  27. Kashi, D. S., Shabir, A., Da Boit, M., Bailey, S. J., & Higgins, M. F. (2019). The Efficacy of administering fruit-derived polyphenols to improve health biomarkers, exercise performance and related physiological responses. *Nutrients*, 11(10), 1–13. <https://doi.org/10.3390/nu11102389>
  28. Korsager Larsen, M., & Matchkov, V. V. (2016). Hypertension and physical exercise: The role of oxidative stress. *Medicina (Lithuania)*, 52(1), 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.medic.2016.01.005>
  29. Le Lay, S., Simard, G., Martinez, M. C., & Andriantsitohaina, R. (2014). Oxidative stress and metabolic pathologies: From an adipocentric point of view. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/908539>
  30. Lee, M. C., Hsu, Y. J., Ho, C. S., Chang, C. H., Liu, C. W., Huang, C. C., & Chiang, W. D. (2021). Evaluation of the efficacy of supplementation with planox® lemon verbena extract in improving oxidative stress and muscle damage: A double-blind controlled trial. *International Journal of Medical Sciences*, 18(12), 2641–2652. <https://doi.org/10.7150/ijms.60726>
  31. Macedo, R. C. S., Vieira, A., Marin, D. P., & Otton, R. (2015). Effects of chronic resveratrol supplementation in military firefighters undergo a physical fitness test - A placebo-controlled, double blind study. *Chemico-Biological Interactions*, 227, 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2014.12.033>
  32. Machado, Á. S., da Silva, W., Souza, M. A., & Carpes, F. P. (2018). Green tea extract preserves neuromuscular activation and muscle damage markers in athletes under cumulative fatigue. *Frontiers in Physiology*, 9, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01137>
  33. Malaguti, M., Angeloni, C., & Hrelia, S. (2013). Polyphenols in exercise performance and prevention of exercise-induced muscle damage. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 825928. <https://doi.org/10.1155/2013/825928>
  34. Martins, N. C., Dorneles, G. P., Blembeel, A. S., Marinho, J. P., Proença, I. C. T., da Cunha Goulart, M. J. V., ... Ribeiro, J. L. (2020). Effects of grape juice consumption on oxidative stress and inflammation in male volleyball players: A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. *Complementary Therapies in Medicine*, 54. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2020.102570>
  35. Merry, T. L., & Ristow, M. (2016). Mitohormesis in exercise training. *Free Radical Biology and Medicine*, 98, 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2015.11.032>
  36. Paulsen, G., Cumming, K. T., Holden, G., Hallén, J., Rønnestad, B. R., Sveen, O., ... Raastad, T. (2014). Vitamin C and E supplementation hampers cellular adaptation to endurance training in humans: A double-blind, randomised, controlled trial. *Journal of Physiology*, 592(8), 1887–1901. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.267419>

37. Pisoschi, A. M., & Pop, A. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97, 55–74. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.04.040>
38. Ristow, M., & Schmeisser, K. (2014). Mitohormesis: Promoting health and lifespan by increased levels of reactive oxygen species (ROS). *Dose-Response*, 12(2), 288–341. <https://doi.org/10.2203/dose-response.13-035.Ristow>
39. Rodrigo, R., Brito, R., González-Montero, J., & Benedetti, V. (2017). Antioxidants in human disease: Potential therapeutic opportunities. *Clinical Pharmacology and Translational Medicine*, 1(2), 44–53.
40. Rodrigo, R., Prat, H., Passalacqua, W., Araya, J., & Bächler, J. P. (2008). Decrease in oxidative stress through supplementation of vitamins C and E is associated with a reduction in blood pressure in patients with essential hypertension. *Clinical Science*, 114(9–10), 625–634. <https://doi.org/10.1042/CS20070343>
41. Silva, W., Machado, Á. S., Souza, M. A., & Carpes, F. P. (2018). Effect of green tea extract supplementation on exercise-induced delayed onset muscle soreness and muscular damage. *Physiology*, 194, 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.05.006>
42. Steinbacher, P., & Eckl, P. (2015). Impact of oxidative stress on exercising skeletal muscle. *Biomolecules*, 5(2), 356–377. <https://doi.org/10.3390/biom5020356>
43. Teixeira-Lemos, E., Nunes, S., Teixeira, F., & Reis, F. (2011). Regular physical exercise training assists in preventing type 2 diabetes development: Focus on its antioxidant and anti-inflammatory properties. *Cardiovascular Diabetology*, 10, 1–15. <https://doi.org/10.1186/1475-2840-10-12>
44. Toscano, L. T., Tavares, R. L., Toscano, L. T., da Silva, C. S. O., de Almeida, A. E. M., Biasoto, A. C. T., Silva, A. S. (2015). Potential ergogenic activity of grape juice in runners. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 40(9), 899–906. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0152>

## **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

All authors listed have made a substantial, direct and intellectual contribution to the work, and approved it for publication.

## **CONFLICTS OF INTEREST**

The authors declare no conflict of interest.

## **FUNDING**

This research received no external funding.

## **COPYRIGHT**

© Copyright 2022: Publication Service of the University of Murcia, Murcia, Spain.