

Efectos de la suplementación con zumo de remolacha sobre la respuesta neuromuscular: revisión sistemática

Effect of beet juice supplementation (BJ) on neuromuscular response: a systematic review

*Juan José Ramos Álvarez, *Juan José Montoya Miñano, *Francisco Miguel Tobal, **Pablo Jodrá Jiménez, ***Raul Domínguez

*Universidad Complutense de Madrid (España), **Universidad de Alcalá de Henares (España), ***Universidad Isabel I (España)

Resumen. El zumo de remolacha (ZR) es una fuente nutricional rica en nitrato (NO_3^-) que, una vez ingerido, es reducido a óxido nítrico (ON). El ON posee efectos hipotensores, anti-inflamatorios y provoca mejoras en la eficiencia mitocondrial y en la regulación de la contractilidad muscular. Distintas investigaciones han comprobado que la suplementación con ZR presenta un efecto ergogénico en modalidades de resistencia cardiorrespiratoria y esfuerzos explosivos e intermitentes de alta intensidad. Sin embargo, dado que ninguna revisión ha valorado el efecto de la suplementación con ZR sobre la producción de fuerza muscular, el objetivo de la presente revisión sistemática es analizar el efecto de la suplementación con ZR sobre el rendimiento en la fuerza muscular. La búsqueda mediante palabras clave y conectores booleanos se realizó en las bases de datos *Dialnet*, *Directory of Open Access Journals*, *Medline*, *Pubmed*, *Scielo*, *Scopus* y *SPORTDiscus*. La estrategia de búsqueda empleada fue la siguiente: (nitrate OR beet*) AND (concepto 2) (supplement* OR nutr* OR diet*) AND (concepto 3) (strength OR «resistance exercise» OR «resistance training» OR «muscular power»). Tras la aplicación de los criterios de inclusión, un total de 14 artículos fueron seleccionados para la revisión. En la revisión se ha comprobado como la suplementación con ZR puede tener un efecto ergogénico sobre la producción de fuerza muscular bajo estimulación eléctrica, así como sobre la producción de potencia sobre contracciones isocinéticas únicamente a altas velocidades angulares, siendo el mecanismo explicativo una potenciación de la capacidad contráctil específicamente en las fibras musculares tipo II.

Palabras clave: Nitrato; Nitrito; Entrenamiento de fuerza; Fuerza; Óxido nítrico; Resistencia muscular; Zumo de remolacha.

Abstract. Beet juice (BJ) is a nutritional source rich in nitrate (NO_3^-) which, after ingestion, is reduced to nitric oxide (NO). NO has effects such as reduction in arterial pressure, anti-inflammatory effects, enhancement of mitochondrial efficiency, and regulation of muscle contractility. Different studies have reported that BJ supplementation has an ergogenic effect in modalities of cardiorespiratory endurance and explosive and intermittent high intensity efforts. Nevertheless, no review has assessed the effect of BJ supplementation on muscle strength production. Thus, the objective of this systematic review is to analyse the effect of BJ supplementation on muscle strength performance. The search using keywords and Boolean connectors was carried out in the databases *Dialnet*, *Directory of Open Access Journals*, *Medline*, *Pubmed*, *Scielo*, *Scopus*, and *SPORTDiscus*. The search strategy used was the following: (nitrate OR beet *) AND (concept 2) (supplement * OR nutr * OR diet *) AND (concept 3) (strength OR «resistance exercise» OR «resistance training» OR «muscular power»). After the application of the inclusion criteria, a total of 14 articles were selected for review. The review has shown how BJ supplementation can have an ergogenic effect on the production of muscle strength under electrical stimulation, as well as on the production of power over isokinetic contractions only at high angular speeds, the explanatory mechanism being a potentiation of the contractile capacity specifically in type II muscle fibers.

Keywords: Beetroot; Muscular endurance; Nitric Oxide; Nitrate; Nitrite; Resistance training; Strength.

Introducción

En el deporte de alta competición la igualdad competitiva es máxima de forma que mejoras de un 1% duplican las posibilidades de que un deportista gane una competición (Hopkins, Hawley, & Burke, 1999), por lo que una elevada tasa de deportistas consume suplementos nutricionales con objeto de mejorar su rendimiento (Koncic & Tomczyk, 2013). Sin embargo, son pocos los suplementos que han demostrado un efecto ergogénico a través de estudios científicos controlados. De hecho, en un documento de consenso del Comité Olímpico Internacional (Maughan et al., 2018) se ha indicado que los únicos suplementos nutricionales con efecto ergogénico con una evidencia científica alta son la cafeína, creatina, α -alanina, bicarbonato sódico (NaHCO_3) y el zumo de remolacha (ZR) o sales de nitrato (NO_3^-); estando los efectos ergogénicos de estos suplementos condicionados a las características del esfuerzo (Lopez-Gonzalez et al., 2018).

El ZR es una fuente nutricional rica en NO_3^- que, una vez ingerido, en la cavidad bucal es reducido a nitrito (NO_2^-) por

la actividad de bacterias anaeróbicas allí presentes antes de ser reducido a óxido nítrico (ON) por acción de los ácidos estomacales y pasar a circulación sistémica (Bailey, Vanhatalo, Winyard, & Jones, 2011) donde parte de los NO_2^- circulantes pueden reducirse a ON en situaciones de acidosis (Modin et al., 2001) o hipoxia (Totzeck et al., 2012). De este modo, la suplementación con ZR aumenta los niveles de ON (Thompson et al., 2016). El ON interviene en numerosos procesos fisiológicos incluyendo una regulación del flujo sanguíneo que disminuye la presión arterial (Ormer, Rodhilla, Rodhilla, & Kushnoor, 2012), efectos anti-inflamatorios (Justice et al., 2015), mejoras en la eficiencia mitocondrial (Larsen et al., 2011) y regulación de la contractilidad muscular (Viner, Williams, & Schoneich, 2000). Estos efectos explican las mejoras tras la ingesta de ZR en parámetros propios de los deportes de resistencia cardiorrespiratoria como son la economía y el tiempo hasta el agotamiento a intensidades submáximas, haciendo que este suplemento sea considerado ergogénico en este tipo de modalidades deportivas (Domínguez, Cuenca, et al., 2017; McMahon, Leveritt, & Pavey, 2017).

Distintos estudios han demostrado que la suplementación con NO_3^- provoca respuestas funcionales únicamente en las fibras musculares tipo II. De este modo el aumento del flujo sanguíneo (Ferguson et al., 2013) o la me-

jora en la velocidad de contracción muscular tras la suplementación únicamente se ha observado en las fibras musculares tipo II (Hernandez et al., 2012; Jones, Ferguson, Bailey, Vanhatalo, & Poole, 2016). Estos efectos podrían explicar las mejoras en los niveles de potencia máxima en una prueba con un predominio del metabolismo no oxidativo como es el test de Wingate (Cuenca et al., 2018; Dominguez, Garnacho-Castano, et al., 2017). Recientemente, una revisión sistemática ha concluido que la suplementación con ZR presenta un efecto ergogénico en esfuerzos explosivos e intermitentes de alta intensidad (Dominguez et al., 2018), si bien en dicho trabajo únicamente se incluyó un trabajo que había valorado los efectos de la suplementación con ZR sobre el rendimiento en fuerza muscular (Mosher, Sparks, Williams, Bentley, & Mc Naughton, 2016). El entrenamiento de fuerza, a medio y largo plazo, provoca adaptaciones estructurales y neuromusculares (Crewther, Cronin, & Keogh, 2006) que incrementa los niveles de hipertrofia, fuerza y potencia muscular (Smith et al., 2014), al tiempo que previene la aparición de lesiones deportivas (Lauersen, Andersen, & Andersen, 2018). Estas adaptaciones hacen que el entrenamiento de fuerza sea empleado en los programas de entrenamiento de deportistas de élite y recreacionales (Fry, 2004). En el campo de la salud, también, se ha reportado que las adaptaciones del entrenamiento de fuerza hacen que éste sea recomendado en sujetos que presentan patologías tanto metabólicas (obesidad, hipertensión o hipercolesterolemia) como neuromusculares (Parkinson, esclerosis múltiple o fibromialgia) (Dominguez, Garnacho-Castaño, & Maté-Muñoz, 2016). Por tanto, la mejora de la fuerza muscular constituye uno de los objetivos del entrenamiento tanto con orientación de mejora del rendimiento (Fry, 2004) como de salud (Castro Jiménez, Gálvez Pardo, Guzmán Quintero, & García Muñoz, 2019; Domínguez et al., 2016) y la suplementación con ZR potencialmente podría tener un efecto ergogénico ante este tipo de esfuerzos (Dominguez et al., 2018).

Ante la ausencia de cualquier revisión o meta-análisis que haya valorado el efecto de este suplemento sobre el rendimiento en la fuerza; el objetivo del presente trabajo de revisión sistemática es analizar el efecto de la suplementación con ZR sobre el rendimiento en la fuerza muscular.

Material y métodos

La presente revisión sistemática se ha realizado según las directrices de la declaración PRISMA para revisiones y meta-análisis (Moher et al., 2015) habiéndose inscrito en la plataforma PROSPERO (identificador: 153713).

Estrategia de búsqueda

Las bases de datos en las que se realizó la búsqueda de artículos para la presente revisión bibliográfica fueron *Dialnet*, *Directory of Open Access Journals*, *Medline*, *Pubmed*, *Scielo*, *Scopus* y *SPORTDiscus*. Dado a que se trata de la primera revisión sistemática sobre la materia, no se acotó la fecha de publicación ni el idioma de las publicaciones, realizándose una búsqueda de todos aquellos trabajos publicados con una fecha anterior al 7 de octubre de 2019. La estrategia de búsqueda, mediante palabras clave separadas por conectores booleanos, incluyó los términos (concepto

1) (nitrate OR beet*) AND (concepto 2) (supplement* OR nutr* OR diet*) AND (concepto 3) (strength OR «resistance exercise» OR «resistance training» OR «muscular power»). Dos autores (JJR-A y JJM-M) independientemente realizaron la búsqueda y la aplicación de todos los criterios de inclusión/exclusión, solicitando la opinión de un tercero en caso de desacuerdo (PJ).

Criterios de inclusión

Únicamente se incluyeron estudios cruzados, a doble ciego y aleatorizados realizados en humanos que valoraron la fuerza muscular, ya sea isométrica, dinámica, isocinética o bajo estimulación eléctrica, en al menos dos condiciones experimentales diferentes, suplementación con ZR y placebo. Por ello, los criterios de exclusión que se aplicaron estuvieron relacionados con el tipo de estudio (únicamente ensayos clínicos publicados en revistas indexadas en los motores de búsqueda utilizados), tipo de estudio (únicamente diseños cruzados, a doble ciego, aleatorizados y comparados con una condición de control), trabajos no relacionados con la Nutrición y Dietética y/o con las Ciencias del Deporte, tipo de población (animales), no inclusión de un protocolo de suplementación con ZR o no valoración de la fuerza muscular.

Síntesis y extracción de datos

De los estudios incluidos en la revisión se extrajeron los siguientes datos: 1) referencia; 2) características de la muestra (sexo, edad, nivel de entrenamiento y tamaño muestral); 3) dosis de ZR ingerida; 4) momento de la ingesta o *timing*; 5) ejercicios empleados para valorar la fuerza muscular; 6) resultados. En cuanto a los resultados de cada una de las distintas variables relacionadas con la fuerza muscular se incluyó el p-valor, así como el porcentaje de mejora tras la suplementación con ZR a través de la siguiente fórmula: (valor medio con suplementación - valor medio con placebo) / valor medio con placebo x 100.

Análisis de la calidad metodológica de los estudios incluidos en la revisión

Para valorar la calidad metodológica de los estudios incluidos en la revisión se empleó la escala PEDro (Maher, Sherrington, Herbert, Moseley, & Elkins, 2003). Se aplicó la escala a cada uno de los trabajos incluidos en la revisión. Incluyéndose «si» en caso de que un criterio fuese cumplido o «no» cuando el criterio no se cumplía. Posteriormente, se realizó un sumatorio de cada uno de los artículos, asignándoles una puntuación de 1 punto por cada ítem cumplido, siendo 11 puntos la máxima puntuación. En base a la puntuación obtenida, los estudios se clasificaron a nivel metodológico como excelentes (10-11 puntos), altos (7-9 puntos), justos (5-6 puntos) o pobres (<5 puntos) (McCrary, Ackermann, & Halaki, 2015; van Tulder, Furlan, Bombardier, Bouter, & Editorial Board of the Cochrane Collaboration Back Review, 2003). La valoración de cada artículo fue realizada de forma independiente por dos investigadores (JJR-A y JJM-M). Posteriormente, se realizó una puesta en común entre los dos investigadores resolviendo por consenso las discrepancias y consultando a un tercer investigador (P.J) los casos de desacuerdo.

Resultados

Resultados de la búsqueda

El total de resultados entre todas las bases de datos ascendió a 487 de los cuales un total de 219 eran resultados repetidos (Figura 1). Un total de 171 resultados fueron eliminados por no presentar relación con la Nutrición y Dietética y/o las Ciencias del Deporte, mientras que 19 lo fueron por no tratarse de ensayos clínicos, incluyendo resúmenes de congresos (n=12), cartas al editor (n=1), correcciones (n=1), estudios de caso (n=1) y revisiones y/o meta-análisis (n=17), detectándose un total de 65 artículos que potencialmente podían ser incluidos para la revisión. Tras aplicar los criterios de exclusión y eliminar los trabajos realizados en animales (n=2), estudios con un diseño que no fuesen cruzados y aleatorizados a doble ciego en los que se comparase la suplementación con ZR con respecto a un placebo (n=24) y estudios que no valoraban la fuerza muscular (n=17), se detectaron un total de 22 artículos que cumplían los criterios de inclusión. Sin embargo, al iniciar el proceso de extracción de datos se excluyeron 8 artículos atendiendo a dos motivos: 1) repetir información en un artículo publicado anteriormente (n=1); 2) realizar una valoración de la fuerza muscular únicamente como indicador de fatiga al esfuerzo (n=7). Finalmente, un total de 14 artículos fueron incluidos para la revisión.

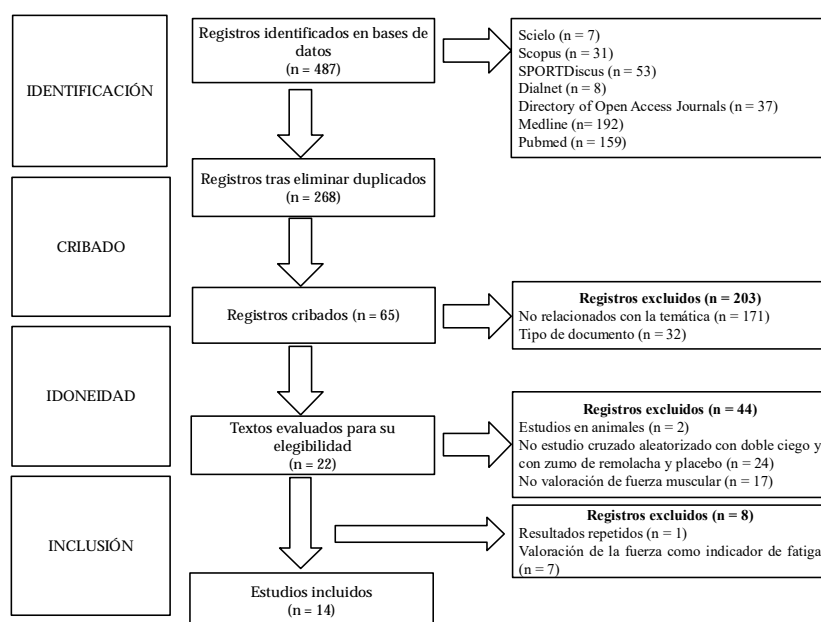


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección de artículos

Características descriptivas de los estudios

El tamaño muestral de los 14 artículos incluidos en la revisión asciende a 213 participantes de los cuales 181 pertenecen al género masculino y 32 al femenino. Diez estudios (Bender et al., 2018; Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015; Flanagan et al., 2016; Fulford et al., 2013; Haider & Folland, 2014; Kokkinoplitis & Chester, 2014; Mosher et al., 2016; Tillin, Moudy, Nourse, & Tyler, 2018; Trexler et al., 2019; Whitfield et al., 2017) fueron realizados exclusivamente con hombres, mientras que 3 (Coggan et al., 2019; Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015; Lee, Abel, Thomas, Symons,

& Yates, 2019) incluyeron una muestra conformada por participantes de ambos géneros y un estudio incluyó únicamente participantes del género femenino (Wickham et al., 2019). En relación a las características de la muestra, 12 artículos analizaron a población adulta (Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015; Flanagan et al., 2016; Fulford et al., 2013; Haider & Folland, 2014; Kokkinoplitis & Chester, 2014; Lee et al., 2019; Mosher et al., 2016; Tillin et al., 2018; Trexler et al., 2019; Whitfield et al., 2017; Wickham et al., 2019), un estudio a adolescentes (Bender et al., 2018) y otro a sujetos de edad avanzada (Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015). A excepción de una investigación en la que los participantes fueron sujetos con insuficiencia cardíaca (Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015), en el resto de investigaciones se incluyó a población sana de los cuales en 4 estudios se analizó a sujetos desentrenados (Coggan et al., 2019; Coggan, Leibowitz, Kadkhodayan, et al., 2015; Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015; Haider & Folland, 2014) y 9 a sujetos físicamente activos (Bender et al., 2018; Flanagan et al., 2016; Fulford et al., 2013; Lee et al., 2019; Mosher et al., 2016; Tillin et al., 2018; Trexler et al., 2019; Whitfield et al., 2017; Wickham et al., 2019), siendo la muestra de 2 de esos estudios sujetos entrenados en fuerza (Flanagan et al., 2016; Mosher et al., 2016). En cuanto al protocolo de suplementación, la dosis de ZR ha variado entre 6,4 (Mosher et al., 2016) y 26,0 mmol (Wickham et al., 2019). En 7 estudios se analizó el efecto de la

suplementación aguda (Bender et al., 2018; Coggan et al., 2019; Coggan, Leibowitz, Kadkhodayan, et al., 2015; Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015; Kokkinoplitis & Chester, 2014; Lee et al., 2019; Trexler et al., 2019), mientras que otros 7 estudios analizaron el efecto de la suplementación crónica (Flanagan et al., 2016; Fulford et al., 2013; Haider & Folland, 2014; Mosher et al., 2016; Tillin et al., 2018; Whitfield et al., 2017; Wickham et al., 2019), variando el período de suplementación entre 3 (Flanagan et al., 2016) y 15 días (Fulford et al., 2013). En relación al timing, a excepción de una investigación que administró la suplementación 75 minutos previos al esfuerzo (Flanagan et al., 2016), el resto de investigaciones aportaron la suplementación en la franja comprendida entre los 120 y 180 minutos previos al esfuerzo.

Efectos de la suplementación con zumo de remolacha sobre la fuerza bajo estimulación eléctrica

De un total de 4 estudios, 3 investigaciones analizaron el ejercicio de extensión de rodillas (Haider & Folland, 2014; Tillin et al., 2018; Whitfield et al., 2017) mientras uno empleó el ejercicio de flexión plantar (Wickham et al., 2019) (Tabla 1). Si bien en su investigación, Tillin y col (Tillin et al., 2018) no observaron ninguna mejora en la producción de fuerza al someter a una estimulación eléctrica en una gama de frecuencias que iban de 10 a 100 Hz; Whitfield y col (Whitfield et al., 2017) observaron un aumento significativo del +20%

Tabla 1.

| Referencia | Muestra | Suplementación | Timing | Ejercicio analizado | Resultados |
|--------------------------|--|------------------------------|--------------------------------|---|---|
| (Haider & Folland, 2014) | 19 hombres adultos no entrenados | 1,5 x 70 ml de ZR (9,7 mmol) | 150 min pre-ejercicio (7 días) | Fuerza: extensión de rodilla (1, 10, 20, 30, 40, 50, 100, 300 Hz) | Fuerza 0-20 Hz: 5-10% (p<0,05) Fuerza 20-50 Hz: +4,6% (p=0,02) Fuerza 100 Hz: -0,7% (P=0,66) Fuerza 300 Hz: +7% (p<0,01) |
| (Whitfield et al., 2017) | 8 hombres adultos físicamente activos | 4 x 70 ml de ZR (26,0 mmol) | 90 min pre-ejercicio (7 días) | Fuerza: extensión de rodillas (10, 20, 30, 50 y 100 Hz) | Fuerza 10 Hz: +9,6% (p<0,05) Fuerza 20 Hz: valores no especificados (p>0,05) Fuerza 30, 50 y 100 Hz: valores no especificados (p>0,05) Curva fuerza/frecuencia: +20% (p<0,01) |
| (Tillin et al., 2018) | 17 hombres adultos físicamente activos | 2 x 70 ml de ZR (12,9 mmol) | 150 min pre-ejercicio (7 días) | Fuerza: extensión de rodillas (10, 20, 50 y 100 Hz) | Fuerza 10 Hz (%100 Hz): -2% (p>0,05) Fuerza 20 Hz (%100 Hz): -0,6% (p>0,05) Fuerza 50 Hz (%100 Hz): +0,6% (p>0,05) Fuerza 100 Hz (% MCV): -2,1% (p=0,18) RFD 100 Hz: +1,7% (p=0,61) |
| (Wickham et al., 2019) | 12 mujeres adultas físicamente activas | 4 x 70 ml de ZR (26,0 mmol) | 150 min pre-ejercicio (8 días) | Fuerza: flexión plantar (1, 5, 10, 20, 30, 40, 50 y 100 Hz) | Fuerza 10 Hz: +43,5% (p<0,01) Fuerza 20 Hz: +11,4% (p=0,08) Fuerza 1, 5, 30, 40, 50 y 100 Hz: valores no especificados (p>0,05) |

Min: minutos; RFD: rate of force development; ZR: zumo de remolacha

Tabla 2.

| Referencia | Muestra | Suplementación | Timing | Ejercicio analizado | Resultados |
|--|--|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---|
| (Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015) | 9 hombres adultos con insuficiencia cardíaca | 140 ml de ZR (11,2 mmol) | 120 min pre-ejercicio | FIM: extensión de rodilla | FIM: +0,5% (p=0,86) Extensión de rodilla a 90°·seg ⁻¹ : valores no especificados (p>0,05) |
| (Bender et al., 2018) | 12 hombres adolescentes físicamente activos | 2 x 70 ml de ZR (12,9 mmol) | 150 min pre-ejercicio | FIM: tirón de arrancada | FIM: +9,4% (p<0,01) |
| (Tillin et al., 2018) | 17 hombres adultos físicamente activos | 2 x 70 ml de ZR (12,9 mmol) | 150 min pre-ejercicio (7 días) | FIM: extensión de rodilla | FIM: +0,3% (p=0,91) |
| (Haider & Folland, 2014) | 19 hombres adultos no entrenados | 1,5 x 70 ml de ZR (9,7 mmol) | 150 min pre-ejercicio (7 días) | FIM: extensión de rodilla | FIM: valores no especificados (p=0,54) |
| (Coggan, Leibowitz, Kadkhodayan, et al., 2015) | 12 adultos (7 hombres y 5 mujeres) sanos | 140 ml de ZR (11,2 mmol) | 120 min pre-ejercicio | FIM: extensión de rodilla | FIM: -1,5% (P=0,61) |

FIM: fuerza isométrica máxima; min: minutos; ZR: zumo de remolacha

Tabla 3.

| Referencia | Muestra | Suplementación | Timing | Ejercicio analizado | Resultados |
|--|--|--------------------------|-----------------------|--|--|
| (Kokkinoplitis & Chester, 2014) | 7 hombres adultos sanos | 70 ml de ZR | 180 min pre-ejercicio | PP: flexión y extensión de rodilla a 60°·seg ⁻¹ y 240°·seg ⁻¹ | Flexión de rodilla a 60°·seg ⁻¹ : -6,9% (p=0,81) Extensión de rodilla a 60°·seg ⁻¹ : -3,5% (p=0,57) Flexión de rodilla a 240°·seg ⁻¹ : -13,8% (p=0,78) Extensión de rodilla a 240°·seg ⁻¹ : -5,6% (p=0,45) |
| (Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015) | 9 hombres adultos con insuficiencia cardíaca | 140 ml de ZR (11,2 mmol) | 120 min pre-ejercicio | PP: extensión de rodilla a 90°·seg ⁻¹ , 180°·seg ⁻¹ y 360°·seg ⁻¹ | Extensión de rodilla a 90°·seg ⁻¹ : valores no especificados (p>0,05) Extensión de rodilla a 180°·seg ⁻¹ : valores no especificados (p>0,05) Extensión de rodilla a 270°·seg ⁻¹ : +9% (p=0,07) Extensión de rodilla a 360°·seg ⁻¹ : +11% (p<0,05) |
| (Coggan, Leibowitz, Kadkhodayan, et al., 2015) | 12 adultos (7 hombres y 5 mujeres) sanos | 140 ml de ZR (11,2 mmol) | 120 min pre-ejercicio | PP: extensión de rodilla a 90°·seg ⁻¹ , 180°·seg ⁻¹ y 360°·seg ⁻¹ | Extensión de rodilla a 90°·seg ⁻¹ : -0,3% (p>0,05) Extensión de rodilla a 180°·seg ⁻¹ : -1,8% (p>0,05) Extensión de rodilla a 270°·seg ⁻¹ : +0% (p=0,05) Extensión de rodilla a 360°·seg ⁻¹ : +4,1% (p<0,05) |
| (Coggan et al., 2019) | 12 adultos (6 hombres y 6 mujeres) >65 años | 140 ml de ZR (13,4 mmol) | 120 min pre-ejercicio | PP: extensión de rodilla a 90°·seg ⁻¹ , 180°·seg ⁻¹ y 360°·seg ⁻¹ | Extensión de rodilla a 90°·seg ⁻¹ : -3,9% (P>0,05) Extensión de rodilla a 180°·seg ⁻¹ : -1,8% (P>0,05) Extensión de rodilla a 270°·seg ⁻¹ : +1,9% (P>0,05) Extensión de rodilla a 360°·seg ⁻¹ : +9,1% (P<0,01) |

Min: minutos; PP: Potencia pico; seg: segundos; ZR: zumo de remolacha

en la curva fuerza/frecuencia. Del mismo modo, Haider y col (Haider & Folland, 2014) observaron mejoras significativas +5-10% tras la suplementación con ZR tanto con bajas (0-20 Hz), ~+5% moderadas (20-50 Hz) y +7% con altas frecuencias (300 Hz); mientras que Wickham y col (Wickham et al., 2019) observaron mejoras significativas en frecuencias de 10 Hz (+43,5%) y una tendencia con frecuencias de 20 Hz (+11,4%, p=0,08).

Efectos de la suplementación con zumo de remolacha sobre la fuerza isométrica máxima

Cuatro estudios emplearon el ejercicio de extensión de rodillas (Coggan, Leibowitz, Kadkhodayan, et al., 2015; Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015; Haider & Folland, 2014; Tillin et al., 2018), mientras otra empleó el tirón de arrancada (Bender et al., 2018) para valorar la fuerza isométrica máxima (Tabla 2). En dichas investigaciones se comprobó que la suplementación con ZR no mejoró la fuerza isométrica máxima de forma significativa en el ejercicio de extensión de rodillas, si bien, si se observó una mejora en el tirón de (+9,4%) tras la suplementación con respecto a una condición de placebo (Bender et al., 2018).

Efectos de la suplementación con zumo de remolacha sobre la fuerza isocinética

Tres investigaciones han valorado el efecto de la suplementación con ZR sobre la producción de potencia a velocidades de 90, 180, 270 y 360°·seg⁻¹ (Coggan et al., 2019; Coggan, Leibowitz, Kadkhodayan, et al., 2015; Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015), mientras que una ha valorado velocidades de 60 y 240°·seg⁻¹ (Kokkinoplitis & Chester, 2014) (Tabla 3). Un aspecto destacable de estas investigaciones es que en ninguna investigación ha encontrado mejoras sobre la producción de potencia a velocidades inferiores a 270°·seg⁻¹, mientras que en todas las investigaciones que han valorado una velocidad angular superior (360°·seg⁻¹) se ha observado una mejora significativa (4,1-11%) en favor de la suplementación con ZR con respecto al placebo (Coggan et al., 2019; Coggan, Leibowitz, Kadkhodayan, et al., 2015; Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015).

Efectos de la suplementación con zumo de remolacha sobre la resistencia muscular

Un total de 8 estudios han valorado los efectos de la suplementación con ZR sobre la resistencia muscular (Coggan et al., 2019; Coggan, Leibowitz, Kadkhodayan, et al., 2015; Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015; Flanagan et al., 2016; Fulford et al., 2013; Lee et al., 2019; Mosher et al., 2016; Trexler et al., 2019) (Tabla 4). Una investigación encontró una mejora tras 15 días de suplementación en la fuerza pico (+11,8%) y fuerza media (10,4%) durante un protocolo consistente en 50 contracciones isométricas máximas, si bien, dicha mejora no alcanzó significación estadísticamente significativa (Fulford et al., 2013). Dos investigaciones (Flanagan et al., 2016; Mosher et al., 2016) valoraron el efecto de la suplementación mediante un modelo de entrenamiento contra resistencias convencional encontrándose en una con ellas una mejora de la suplementación sobre el número de repeticiones en una sesión consistente en 3 series con una carga del 60% de 1 RM (Mosher et al., 2016). Tres investigaciones observaron tras la suplementación una mejora sobre los niveles de potencia media (4-4,9%) y en el trabajo realizado (+0,4%) en un protocolo de 50 repeticiones de extensión de rodilla a una velocidad angular de 180°·seg⁻¹, si bien, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas (Coggan et al., 2019; Coggan, Leibowitz, Kadkhodayan, et

Tabla 4.

Efectos de la suplementación con ZR sobre la resistencia muscular

| Referencia | Muestra | Suplementación | Timing | Ejercicio analizado | Resultados |
|---|---|------------------------------|--|---|--|
| (Mosher et al., 2016) | 12 hombres adultos entrenados en fuerza | 70 ml de ZR (6,4 mmol) | Timing no especificado (6 días) | Máximo número de repeticiones: 3 x 60% 1 RM. R: 2 min | Máximo número de repeticiones: +19,4% (p<0,01) |
| (Fulford et al., 2013) | 8 hombres adultos físicamente activos | 2 x 250 ml de ZR (10,2 mmol) | 150 min pre-ejercicio 150 min pre-ejercicio (5 días) 150 min pre-ejercicio (15 días) | 50 contracciones de flexión de tobillo isométricas (6,6 seg contracción y 0,9 seg recuperación) | FP: ZR 150 min -3,7% (p>0,05), 5 días -0,5% (p>0,05) y 15 días +11,8% (p>0,05) FM: ZR 150 min +1,0% (p>0,05), 5 días -2,5% (p>0,05) y 15 días +10,4% (p>0,05) |
| (Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015) | 9 hombres adultos con insuficiencia cardíaca | 140 ml de ZR (11,2 mmol) | 120 min pre-ejercicio | 50 contracciones de extensión de rodillas a 180°·seg ⁻¹ | 50 contracciones máximas a 180°·seg ⁻¹ PM: +4,9% (p>0,05) |
| (Flanagan et al., 2016) | 14 hombres adultos entrenados en fuerza | 2 barras de ZR (35,2 mg) | 75 min pre-ejercicio (3 días) | Máximo número de repeticiones: sentadilla al 60%, 70%, 80% y 90% 1RM | Máximo número de repeticiones: -1,5% (p>0,05) |
| (Coggan et al., 2019) | 12 adultos (6 hombres y 6 mujeres) >65 años | 140 ml de ZR (13,4 mmol) | 120 min pre-ejercicio | 50 contracciones de extensión de rodillas a 180°·seg ⁻¹ | 50 contracciones máximas a 180°·seg ⁻¹ PM: +4,0% (p=0,18) |
| (Trexler et al., 2019) | 27 hombres adultos físicamente activos | 70 ml de ZR (400 mg) | 120 min pre-ejercicio | 5 x 30 contracciones de extensión de rodilla a 180°·seg ⁻¹ . R: 1 min | PP: -0,5% (p>0,05) PM: -0,9% (p>0,05) Trabajo total: +0,4% (p>0,05) |
| (Coggan, Leibowitz, Kadhodayan, et al., 2015) | 12 adultos (7 hombres y 5 mujeres) sanos | 140 ml de ZR (11,2 mmol) | 120 min pre-ejercicio | 50 contracciones de extensión de rodillas a 180°·seg ⁻¹ | 50 contracciones máximas a 180°·seg ⁻¹ PM: +4,4% (p>0,05) |
| (Lee et al., 2019) | 35 adultos (26 hombres y 9 mujeres) físicamente activos | 2 x 70 ml de ZR (8,0 mmol) | 150 min pre-ejercicio | 50 contracciones de extensión de rodillas a 90°·seg ⁻¹ | PP: -0,4% (p=0,66) PP (cada repetición): valores no especificados (p>0,05) |

1 RM: una repetición máxima; FM: fuerza media; FP: fuerza pico; PM: potencia media; PP: potencia pico; min: minutos; ZR: zumo de remolacha

al., 2015; Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015; Trexler et al., 2019). A una velocidad angular de 90°·seg⁻¹ tampoco se pudo encontrar diferencias en un protocolo consistente en 50 contracciones máximas (Lee et al., 2019).

Calidad metodológica de los estudios incluidos en la revisión

De los 14 estudios incluidos en la revisión, 13 fueron clasificados como excelentes, ya que 9 estudios obtuvieron una puntuación de 11/11 y 4 estudios una puntuación de 10/11, mientras que un estudio (Whitfield et al., 2017) tuvo una calidad metodológica justa al obtener una calificación de 6/11 puntos (véase Tabla 5).

Tabla 5.

Resumen de los resultados del análisis de calidad metodológica de los estudios en base a la aplicación de la escala PEDRO.

| Referencia | Item 1 | Item 2 | Item 3 | Item 4 | Item 5 | Item 6 | Item 7 | Item 8 | Item 9 | Item 10 | Item 11 | Puntuación |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|------------|
| (Bender et al., 2018) | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | 11 |
| (Coggan, Leibowitz, Kadhodayan, et al., 2015) | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | No | 10 |
| (Flanagan et al., 2016) | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | 11 |
| (Fulford et al., 2013) | No | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | 10 |
| (Haider & Folland, 2014) | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | 11 |
| (Kokkinoplitis & Chester, 2014) | No | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | 10 |
| (Mosher et al., 2016) | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | 11 |
| (Tillin et al., 2018) | No | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | 10 |
| (Trexler et al., 2019) | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | 11 |
| (Whitfield et al., 2017) | No | Si | No | Si | No | No | No | Si | Si | Si | Si | 6 |
| (Coggan et al., 2019) | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | 11 |
| (Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015) | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | 11 |
| (Lee et al., 2019) | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | 11 |
| (Wickham et al., 2019) | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | 11 |

Discusión

Efectos de la suplementación con zumo de remolacha sobre la fuerza bajo estimulación eléctrica

En la presente revisión se ha comprobado cómo, a excepción de una investigación en la que no pudo comprobarse ningún efecto de la suplementación con ZR sobre la capacidad contráctil muscular bajo estimulación eléctrica (Tillin et al., 2018), un efecto positivo de la suplementación con ZR a bajas frecuencias de estimulación (<20 Hz) (Haider & Folland, 2014; Whitfield et al., 2017; Wickham et al., 2019), mejorando la relación fuerza/frecuencia (Whitfield et al., 2017). En cuanto al efecto de la suplementación con ZR ante este tipo de contracciones, Haider y col (Haider & Folland, 2014) encontraron mejoras significativas en los primeros 50 milisegundos

de la contracción, sugiriendo que las mejoras tienen lugar al inicio de la estimulación. Estudios en animales han comprobado que la suplementación con NO₃ incrementa la expresión de la calsecuestina y del receptor de la dihidropiridina (Hernandez et al., 2012), proteínas implicadas en la liberación de calcio desde el retículo sarcoplasmático una vez que se ha provocado la despolarización del sarcolema. Debido a la afinidad que presentan la troponina y la tropomiosina por el calcio, permitiendo la

fijación de la actina a las cabezas de la miosina dando lugar a la formación del puente cruzado (Kawasaki & Kasai, 1994), se explica el papel que desempeña la biodisponibilidad de calcio en el mioplasma en la producción de fuerza explosiva y a bajas frecuencias de estimulación, donde se ha identificado éste como un factor limitante del rendimiento (Vandenboom, Grange, & Houston, 1993). De este modo, la potenciación en los primeros milisegundos de una contracción tetánica (Haider & Folland, 2014) podrían ser explicados por una superior y más rápida presencia de calcio en el sarcoplasma que, a su vez, podría ser la responsable de explicar el efecto ergogénico de la suplementación ante bajas frecuencias de estimulación.

Efectos de la suplementación con zumo de remolacha sobre la fuerza isométrica máxima

Los resultados encontrados sobre la fuerza isométrica bajo estimulación eléctrica contrastan con la ausencia de mejora en las investigaciones que han valorado la fuerza isométrica

máxima en el ejercicio de extensión de rodillas (Bender et al., 2018; Coggan, Leibowitz, Kadhodayan, et al., 2015; Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015; Haider & Folland, 2014; Tillin et al., 2018). Si se atiende a que, durante la producción de la máxima fuerza explosiva voluntaria, a diferencia de las contracciones bajo estimulación eléctrica, presentan un gran coeficiente de variación (13-17% durante los primeros 50 ms) (Buckthorpe, Hannah, Pain, & Folland, 2012; Tillin, Jimenez-Reyes, Pain, & Folland, 2010), el rendimiento parece estar más influido por el reclutamiento neuromuscular voluntario que por las propiedades contráctiles del músculo (Folland, Buckthorpe, & Hannah, 2014). Si se atiende a los estudios que han analizado la fuerza isométrica máxima en el ejercicio de extensión de piernas, se observa que en las 4 investigaciones la muestra está compuesta por población no entrenada (Bender et al., 2018; Coggan, Leibowitz, Kadhodayan, et

al., 2015; Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015; Haider & Folland, 2014; Tillin et al., 2018). Sin embargo, en la investigación llevada a cabo por Bender y col (Bender et al., 2018), se analizó a una muestra de adolescentes moderadamente entrenados y el tipo de ejercicio empleado era el tirón de arrancada. Los movimientos olímpicos se ha comprobado que son un tipo de ejercicios que mejoran en mayor medida los niveles de potencia muscular (por ejemplo, rendimiento en un salto vertical) con respecto a ejercicios convencionales porque presentan, entre otras adaptaciones, un incremento superior en el reclutamiento neuromuscular (Hackett, Davies, Soomro, & Halaki, 2016). Por ello, en la muestra empleada por Bender y col (Bender et al., 2018) es posible que el moderado nivel de entrenamiento de fuerza mediante movimientos olímpicos pudiese ser una muestra que presentase un mayor reclutamiento neuromuscular durante la realización de una contracción isométrica máxima voluntaria y, por tanto, el efecto de la suplementación con ZR sobre la capacidad contráctil del músculo podría haber originado las mejoras significativas encontradas bajo la condición de suplementación con respecto a la de placebo. De este modo, es posible que el efecto de la suplementación con ZR sobre la fuerza isométrica máxima pudiese estar condicionada por el nivel y tipo de entrenamiento de los deportistas.

Efectos de la suplementación con zumo de remolacha sobre la fuerza isocinética

En relación a los efectos de la suplementación con ZR sobre la fuerza isocinética se ha visto que ésta presenta un efecto ergogénico únicamente ante altas velocidades angulares como $360^{\circ}\cdot\text{seg}^{-1}$ (Coggan et al., 2019; Coggan, Leibowitz, Kadkhodayan, et al., 2015; Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015). Si se tiene en cuenta que las mejoras en la capacidad contráctil del músculo tras la suplementación con NO_3^- es específica de las unidades motoras tipo II (Hernandez et al., 2012; Jones et al., 2016) y a que, en los ejercicios de fuerza isocinética la contribución relativa de las fibras musculares tipo II a la producción de fuerza se incrementa a medida que aumentan la velocidad angular (Ivy, Withers, Brose, Maxwell, & Costill, 1981); es posible que el efecto ergogénico de la suplementación con ZR se diluya durante la realización de contracciones a menor velocidad angular debido al reclutamiento combinado de unidades motoras tipo I y tipo II y a que, el mayor reclutamiento de unidades motoras tipo II durante las velocidades angulares superiores puedan obtener el efecto ergogénico de la suplementación.

Efectos de la suplementación con zumo de remolacha sobre la resistencia muscular

En relación al efecto de la suplementación con ZR sobre la resistencia muscular, cabía esperar un posible efecto ergogénico de la suplementación. Sin embargo, a pesar de que muchos trabajos han reportado valores superiores sobre los niveles de potencia o de trabajo desarrollado en protocolos de 50 contracciones isométricas o isocinéticas, ninguna de ellas ha podido reportar diferencias estadísticamente significativas; habiendo únicamente una investigación que ha reportado un incremento en el máximo número de repeticiones realizadas en una sesión de 3 series con una carga del 60% de 1 RM en el ejercicio de press de banca (Mosher et al.,

2016). Además del posible efecto de la suplementación con NO_3^- sobre la eficiencia mitocondrial (Larsen et al., 2011), los efectos de la suplementación con ZR sobre la liberación del calcio podría provocar una mejora en la eficiencia energética, ya que, la liberación de calcio supone un 30-50% del gasto energético de la contracción muscular (Barclay, Woledge, & Curtin, 2007; Szentesi, Zaremba, van Mechelen, & Stienen, 2001). Ello podría explicar el menor coste de fosfocreatina (PCr) durante una contracción voluntaria máxima tras la suplementación con ZR con respecto a una condición de placebo (Ferguson et al., 2015). De hecho, en la investigación llevada a cabo por Fulford y col (Fulford et al., 2013) en la que se observaron mejoras no significativas ($p>0,05$) tras 15 días de suplementación con ZR en un protocolo de 50 contracciones máximas isométricas se observó una tendencia a presentar unos niveles superiores de PCr al finalizar la serie de trabajo ($p=0,06$). La incapacidad de este protocolo para provocar una depleción completa de las reservas de PCr sugiere la posibilidad de que dicho test no llevó a una fatiga extenuante. De este modo, es posible que ante una depleción, la suplementación habría atenuado el incremento de las concentraciones de Pi (Bailey et al., 2010) conllevando al retraso de la fatiga, debido al efecto negativo del Pi sobre la sensibilidad al calcio y su liberación desde el retículo sarcoplasmático (Duke & Steele, 2001).

En relación a los trabajos que han valorado el efecto de la suplementación con ZR sobre 50 contracciones isocinéticas, hay que destacar que la velocidad escogida fue de $180^{\circ}\cdot\text{seg}^{-1}$, dado que ante este tipo de contracciones, la contribución de las unidades motoras tipo II se incrementa con el aumento de la velocidad angular (Ivy et al., 1981), habiéndose detectado un efecto ergogénico únicamente ante velocidades de $360^{\circ}\cdot\text{seg}^{-1}$ (Coggan et al., 2019; Coggan, Leibowitz, Kadkhodayan, et al., 2015; Coggan, Leibowitz, Spearie, et al., 2015); la velocidad angular podría haber enmascarado el posible efecto ergogénico. De este modo, el reclutamiento de unidades motoras tipo I y tipo IIa durante dicho protocolo y sus mayores niveles de resistencia con respecto al tipo IIx, podría haber hecho que el protocolo seleccionado no fuese máximo. En cuanto al estudio llevado a cabo por Mosher y col (Mosher et al., 2016), un aspecto destacable es que se seleccionó un protocolo consistente en 3 series hasta el agotamiento con una carga del 60% de 1 RM, protocolo que demostró lograr una fatiga real ya que pudo observarse como a lo largo de las series tenía lugar un descenso significativo del número de repeticiones por serie. De este modo, es necesario que futuros estudios que valoren el efecto de la suplementación con ZR, adopten protocolos de intensidad máxima con objeto de poder determinar el posible efecto ergogénico de la suplementación.

Posología

Entre los trabajos incluidos en la revisión, ninguna investigación analizó el efecto de distintas posologías relacionadas con la suplementación con ZR sobre el rendimiento neuromuscular. Sin embargo, en relación con el rendimiento en la resistencia cardiorrespiratoria Vanhatalo y col (Vanhatalo et al., 2010), observaron una mejora en la relación W/VO_2 en cicloergómetro tras la suplementación tanto aguda (150 mi-

nutos previos al esfuerzo) como crónica (5 y 15 días) tras una suplementación de 5,2 mmol de NO_3^- provenientes del ZR, mientras que Wylie y col (Wylie et al., 2013) comprobaron que la suplementación aguda (150 minutos previos al esfuerzo) mejoró el tiempo hasta el agotamiento a una intensidad severa cuando se suministraban dosis de 8,4 (+14%) y 16,4 mmol de NO_3^- (+12%), pero no ante dosis de 4,2 mmol. En una investigación posterior, se ha comprobado que a diferencia de una dosis de 3 mmol de NO_3^- , la suplementación con 6 mmol de NO_3^- provenientes del ZR tendió a mejorar el rendimiento ($p=0,06$) en una prueba de economía en ciclismo tras la suplementación aguda (150 minutos previos al esfuerzo), alcanzándose diferencias estadísticamente significativas a los 28 días de suplementación (Wylie et al., 2016). De este modo, se ha propuesto que el efecto ergogénico de la suplementación con ZR presenta una relación dosis-dependiente con el aporte de NO_3^- , siendo necesario aportar dosis de al menos 6 mmol de NO_3^- (Wylie et al., 2013; Wylie et al., 2016) Por otro lado, la suplementación aguda podría ejercer sus efectos a través de un cambio reversible en la actividad de las proteínas intramusculares, mientras que la suplementación a largo plazo podría dar lugar a cambios funcionales en las mismas como respuesta a la frecuente exposición a la suplementación (Larsen, Weitzberg, Lundberg, & Ekblom, 2010) De este modo, ante la falta de investigaciones que hayan estudiado el efecto de distintos protocolos de suplementación con ZR sobre el rendimiento neuromuscular, debería recomendarse la suplementación de cantidades que aporten al menos 6 mmol de NO_3^- , optándose por protocolos crónicos a largo plazo (150 minutos previos a cada sesión de entrenamiento) con respecto a la suplementación aguda.

Limitaciones del estudio

La principal limitación de la presente revisión bibliográfica es la inexistencia de estudios que hayan analizado el efecto de la suplementación aguda con respecto a la suplementación crónica sobre el rendimiento neuromuscular en la producción de fuerza, así como el efecto de distintas cantidades de NO_3^- aportados a través de la suplementación con ZR y que podría sugerir la conveniencia de utilizar una posología específica en este tipo de esfuerzos. Una segunda limitación de la revisión reside en que la mayoría de las investigaciones han empleado ejercicios de miembros inferiores no pudiendo detectar un posible efecto diferencial entre el efecto de la suplementación en miembros superiores con respecto a miembros inferiores. De este modo, si tenemos en cuenta que a nivel histológico los miembros superiores tienen una mayor proporción de unidades motoras tipo II con respecto a los miembros inferiores (Johnson, Polgar, Weightman, & Appleton, 1973) y al posible efecto selectivo de la suplementación con NO_3^- sobre las unidades motoras tipo II (Jones, 2014), existe la posibilidad de que el efecto sobre ejercicios que empleen mayoritariamente a unidades motoras tipo II sean más susceptibles de beneficiarse del efecto ergogénico de la suplementación.

Conclusiones

La suplementación con ZR se ha comprobado que pue-

de presentar un efecto ergogénico sobre la producción de fuerza bajo condiciones de estimulación eléctrica, gracias a un efecto potenciador de la contractilidad muscular. Sin embargo, dado que la producción de contracciones voluntarias isométricas presenta una gran variación del reclutamiento voluntario es posible que el efecto ergogénico únicamente pueda ser detectado en sujetos con un alto nivel de entrenamiento. En cuanto a las contracciones dinámicas isocinéticas, se ha comprobado que el efecto ergogénico de la suplementación con ZR es específico de las contracciones realizadas a altas velocidades angulares. En cuanto a la resistencia muscular no se aprecia un efecto significativo de la suplementación con ZR siendo necesario realizar nuevas investigaciones que incluyan protocolos extenuantes.

Referencias

- Bailey, S. J., Fulford, J., Vanhatalo, A., Winyard, P. G., Blackwell, J. R., DiMenna, F. J., . . . Jones, A. M. (2010). Dietary nitrate supplementation enhances muscle contractile efficiency during knee-extensor exercise in humans. *J Appl Physiol* (1985), 109(1), 135-148. doi:10.1152/jappphysiol.00046.2010
- Bailey, S. J., Vanhatalo, A., Winyard, P. G., & Jones, A. M. (2011). The nitrate-nitrite-nitric oxide pathway: Its role in human exercise physiology. *Eur J Sport Sci*, 12(4), 309-320.
- Barclay, C. J., Woledge, R. C., & Curtin, N. A. (2007). Energy turnover for Ca^{2+} cycling in skeletal muscle. *J Muscle Res Cell Motil*, 28(4-5), 259-274. doi:10.1007/s10974-007-9116-7
- Bender, D., Townsend, J. R., Vantrease, W. C., Marshall, A. C., Henry, R. N., Heffington, S. H., & Johnson, K. D. (2018). Acute beetroot juice administration improves peak isometric force production in adolescent males. *Appl Physiol Nutr Metab*, 43(8), 816-821. doi:10.1139/apnm-2018-0050
- Buckthorpe, M. W., Hannah, R., Pain, T. G., & Folland, J. P. (2012). Reliability of neuromuscular measurements during explosive isometric contractions, with special reference to electromyography normalization techniques. *Muscle Nerve*, 46(4), 566-576. doi:10.1002/mus.23322
- Castro Jiménez, L. E., Gálvez Pardo, A. Y., Guzmán Quintero, G. A., & García Muñoz, A. I. (2019). Fuerza explosiva en adultas mayores, efectos del entrenamiento en fuerza máxima. *Retos*, 36, 64-68.
- Coggan, A. R., Hoffman, R. L., Gray, D. A., Moorthi, R. N., Thomas, D. P., Leibowitz, J. L., . . . Peterson, L. R. (2019). A single dose of dietary nitrate increases maximal knee extensor angular velocity and power in healthy older men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. doi:10.1093/gerona/glz156
- Coggan, A. R., Leibowitz, J. L., Kadkhodayan, A., Thomas, D. P., Ramamurthy, S., Spearie, C. A., . . . Peterson, L. R. (2015). Effect of acute dietary nitrate intake on maximal knee extensor speed and power in healthy men and women. *Nitric Oxide*, 48, 16-21. doi:10.1016/j.niox.2014.08.014
- Coggan, A. R., Leibowitz, J. L., Spearie, C. A., Kadkhodayan, A., Thomas, D. P., Ramamurthy, S., . . . Peterson, L. R. (2015). Acute Dietary Nitrate Intake Improves Muscle Contractile Function in Patients With Heart Failure: A Double-Blind, Placebo-Controlled, Randomized Trial. *Circ Heart Fail*, 8(5), 914-920. doi:10.1161/CIRCHEARTFAILURE.115.002141
- Crewther, B., Cronin, J., & Keogh, J. (2006). Possible stimuli for strength and power adaptation : acute metabolic responses.

- Sports Med*, 36(1), 65-78. doi:10.2165/00007256-200636010-00005
- Cuenca, E., Jodra, P., Perez-Lopez, A., Gonzalez-Rodriguez, L. G., Fernandes da Silva, S., Veiga-Herreros, P., & Dominguez, R. (2018). Effects of Beetroot Juice Supplementation on Performance and Fatigue in a 30-s All-Out Sprint Exercise: A Randomized, Double-Blind Cross-Over Study. *Nutrients*, 10(9). doi:10.3390/nu10091222
- Dominguez, R., Cuenca, E., Mate-Munoz, J. L., Garcia-Fernandez, P., Serra-Paya, N., Estevan, M. C., ... Garnacho-Castano, M. V. (2017). Effects of Beetroot Juice Supplementation on Cardiorespiratory Endurance in Athletes. A Systematic Review. *Nutrients*, 9(1). doi:10.3390/nu9010043
- Dominguez, R., Garnacho-Castano, M. V., Cuenca, E., Garcia-Fernandez, P., Munoz-Gonzalez, A., de Jesus, F., ... Mate-Munoz, J. L. (2017). Effects of Beetroot Juice Supplementation on a 30-s High-Intensity Inertial Cycle Ergometer Test. *Nutrients*, 9(12). doi:10.3390/nu9121360
- Dominguez, R., Garnacho-Castaño, M. V., & Maté-Muñoz, J. L. (2016). Efectos del entrenamiento contra resistencias o resistencia training en diversas patologías. *Nutr Hosp*, 33(3), 719-733.
- Dominguez, R., Mate-Munoz, J. L., Cuenca, E., Garcia-Fernandez, P., Mata-Ordóñez, F., Lozano-Estevan, M. C., ... Garnacho-Castano, M. V. (2018). Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts. *J Int Soc Sports Nutr*, 15, 2. doi:10.1186/s12970-017-0204-9
- Duke, A. M., & Steele, D. S. (2001). Mechanisms of reduced SR Ca(2+) release induced by inorganic phosphate in rat skeletal muscle fibers. *Am J Physiol Cell Physiol*, 281(2), C418-429. doi:10.1152/ajpcell.2001.281.2.C418
- Ferguson, S. K., Hirai, D. M., Copp, S. W., Holdsworth, C. T., Allen, J. D., Jones, A. M., ... Poole, D. C. (2013). Impact of dietary nitrate supplementation via beetroot juice on exercising muscle vascular control in rats. *J Physiol*, 591(2), 547-557. doi:10.1113/jphysiol.2012.243121
- Ferguson, S. K., Holdsworth, C. T., Wright, J. L., Fees, A. J., Allen, J. D., Jones, A. M., ... Poole, D. C. (2015). Microvascular oxygen pressures in muscles comprised of different fiber types: Impact of dietary nitrate supplementation. *Nitric Oxide*, 48, 38-43. doi:10.1016/j.niox.2014.09.157
- Flanagan, S. D., Looney, D. P., Miller, M. J., DuPont, W. H., Pryor, L., Creighton, B. C., ... Kraemer, W. J. (2016). The Effects of Nitrate-Rich Supplementation on Neuromuscular Efficiency during Heavy Resistance Exercise. *J Am Coll Nutr*, 35(2), 100-107. doi:10.1080/07315724.2015.1081572
- Folland, J. P., Buckthorpe, M. W., & Hannah, R. (2014). Human capacity for explosive force production: neural and contractile determinants. *Scand J Med Sci Sports*, 24(6), 894-906. doi:10.1111/sms.12131
- Fry, A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med*, 34(10), 663-679. doi:10.2165/00007256-200434100-00004
- Fulford, J., Winyard, P. G., Vanhatalo, A., Bailey, S. J., Blackwell, J. R., & Jones, A. M. (2013). Influence of dietary nitrate supplementation on human skeletal muscle metabolism and force production during maximum voluntary contractions. *Pflugers Arch*, 465(4), 517-528. doi:10.1007/s00424-013-1220-5
- Hackett, D., Davies, T., Soomro, N., & Halaki, M. (2016). Olympic weightlifting training improves vertical jump height in sportspeople: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med*, 50(14), 865-872. doi:10.1136/bjsports-2015-094951
- Haider, G., & Folland, J. P. (2014). Nitrate supplementation enhances the contractile properties of human skeletal muscle. *Med Sci Sports Exerc*, 46(12), 2234-2243. doi:10.1249/MSS.0000000000000351
- Hernandez, A., Schiffer, T. A., Ivarsson, N., Cheng, A. J., Bruton, J. D., Lundberg, J. O., ... Westerblad, H. (2012). Dietary nitrate increases tetanic [Ca²⁺]_i and contractile force in mouse fast-twitch muscle. *J Physiol*, 590(15), 3575-3583. doi:10.1113/jphysiol.2012.232777
- Hopkins, W. G., Hawley, J. A., & Burke, L. M. (1999). Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Med Sci Sports Exerc*, 31(3), 472-485. doi:10.1097/00005768-199903000-00018
- Ivy, J. L., Withers, R. T., Brose, G., Maxwell, B. D., & Costill, D. L. (1981). Isokinetic contractile properties of the quadriceps with relation to fiber type. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 47(3), 247-255. doi:10.1007/bf00422470
- Johnson, M. A., Polgar, J., Weightman, D., & Appleton, D. (1973). Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles. An autopsy study. *J Neurol Sci*, 18(1), 111-129. doi:10.1016/0022-510x(73)90023-3
- Jones, A. M. (2014). Dietary nitrate supplementation and exercise performance. *Sports Med*, 44 Suppl 1, S35-45. doi:10.1007/s40279-014-0149-y
- Jones, A. M., Ferguson, S. K., Bailey, S. J., Vanhatalo, A., & Poole, D. C. (2016). Fiber Type-Specific Effects of Dietary Nitrate. *Exerc Sport Sci Rev*, 44(2), 53-60. doi:10.1249/JES.0000000000000074
- Justice, J. N., Gioscia-Ryan, R. A., Johnson, L. C., Battson, M. L., de Picciotto, N. E., Beck, H. J., ... Seals, D. R. (2015). Sodium nitrite supplementation improves motor function and skeletal muscle inflammatory profile in old male mice. *J Appl Physiol* (1985), 118(2), 163-169. doi:10.1152/jappphysiol.00608.2014
- Kawasaki, T., & Kasai, M. (1994). Regulation of calcium channel in sarcoplasmic reticulum by calsequestrin. *Biochem Biophys Res Commun*, 199(3), 1120-1127. doi:10.1006/bbrc.1994.1347
- Kokkinoplitis, K., & Chester, N. J. (2014). The effect of beetroot juice on repeated sprint performance and muscle force production. *J. Phys. Educ. Sport*, 14(2), 242-247.
- Koncic, M. Z., & Tomczyk, M. (2013). New insights into dietary supplements used in sport: active substances, pharmacological and side effects. *Curr Drug Targets*, 14(9), 1079-1092. doi:10.2174/1389450111314090016
- Larsen, F. J., Schiffer, T. A., Borniquel, S., Sahlin, K., Ekblom, B., Lundberg, J. O., & Weitzberg, E. (2011). Dietary inorganic nitrate improves mitochondrial efficiency in humans. *Cell Metab*, 13(2), 149-159. doi:10.1016/j.cmet.2011.01.004
- Larsen, F. J., Weitzberg, E., Lundberg, J. O., & Ekblom, B. (2010). Dietary nitrate reduces maximal oxygen consumption while maintaining work performance in maximal exercise. *Free Radic Biol Med*, 48(2), 342-347. doi:10.1016/j.freeradbiomed.2009.11.006
- Lauersen, J. B., Andersen, T. E., & Andersen, L. B. (2018). Strength training as superior, dose-dependent and safe prevention of acute and overuse sports injuries: a systematic review,

- qualitative analysis and meta-analysis. *Br J Sports Med*, 52(24), 1557-1563. doi:10.1136/bjsports-2018-099078
- Lee, S., Abel, M. G., Thomas, T., Symons, T. B., & Yates, J. W. (2019). Acute beetroot juice supplementation does not attenuate knee extensor exercise muscle fatigue in a healthy young population. *J Exerc Nutrition Biochem*, 23(1), 55-62. doi:10.20463/jenb.2019.0008
- Lopez-Gonzalez, L. M., Sanchez-Oliver, A. J., Mata, F., Jodra, P., Antonio, J., & Dominguez, R. (2018). Acute caffeine supplementation in combat sports: a systematic review. *J Int Soc Sports Nutr*, 15(1), 60. doi:10.1186/s12970-018-0267-2
- Maher, C. G., Sherrington, C., Herbert, R. D., Moseley, A. M., & Elkins, M. (2003). Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther*, 83(8), 713-721. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12882612>
- Maughan, R. J., Burke, L. M., Dvorak, J., Larson-Meyer, D. E., Peeling, P., Phillips, S. M., . . . Engebretsen, L. (2018). IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *Br J Sports Med*, 52(7), 439-455. doi:10.1136/bjsports-2018-099027
- McCrary, J. M., Ackermann, B. J., & Halaki, M. (2015). A systematic review of the effects of upper body warm-up on performance and injury. *Br J Sports Med*, 49(14), 935-942. doi:10.1136/bjsports-2014-094228
- McMahon, N. F., Leveritt, M. D., & Pavey, T. G. (2017). The Effect of Dietary Nitrate Supplementation on Endurance Exercise Performance in Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, 47(4), 735-756. doi:10.1007/s40279-016-0617-7
- Modin, A., Bjorne, H., Herulf, M., Alving, K., Weitzberg, E., & Lundberg, J. O. (2001). Nitrite-derived nitric oxide: a possible mediator of 'acidic-metabolic' vasodilation. *Acta Physiol Scand*, 171(1), 9-16. doi:10.1046/j.1365-201X.2001.00771.x
- Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., . . . Group, P.-P. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst Rev*, 4, 1. doi:10.1186/2046-4053-4-1
- Mosher, S. L., Sparks, S. A., Williams, E. L., Bentley, D. J., & McNaughton, L. R. (2016). Ingestion of a Nitric Oxide Enhancing Supplement Improves Resistance Exercise Performance. *J Strength Cond Res*, 30(12), 3520-3524. doi:10.1519/JSC.000000000001437
- Ormer, N., Rodhilla, A., Rodhilla, S., & Kushnoor, A. (2012). Nitric Oxide: Role in Human Biology. *Int. j. pharm. sci. drug. res.*, 4(2), 105-109.
- Smith, R. A., Martin, G. J., Szivak, T. K., Comstock, B. A., Dunn-Lewis, C., Hooper, D. R., . . . Kraemer, W. J. (2014). The effects of resistance training prioritization in NCAA Division I Football summer training. *J Strength Cond Res*, 28(1), 14-22. doi:10.1519/JSC.0b013e3182977e56
- Szentesi, P., Zaremba, R., van Mechelen, W., & Stienen, G. J. (2001). ATP utilization for calcium uptake and force production in different types of human skeletal muscle fibres. *J Physiol*, 531(Pt2), 393-403. doi:10.1111/j.1469-7793.2001.0393i.x
- Thompson, C., Vanhatalo, A., Jell, H., Fulford, J., Carter, J., Nyman, L., . . . Jones, A. M. (2016). Dietary nitrate supplementation improves sprint and high-intensity intermittent running performance. *Nitric Oxide*, 61, 55-61. doi:10.1016/j.niox.2016.10.006
- Tillin, N. A., Jimenez-Reyes, P., Pain, M. T., & Folland, J. P. (2010). Neuromuscular performance of explosive power athletes versus untrained individuals. *Med Sci Sports Exerc*, 42(4), 781-790. doi:10.1249/MSS.0b013e3181be9c7e
- Tillin, N. A., Moudy, S., Nourse, K. M., & Tyler, C. J. (2018). Nitrate Supplement Benefits Contractile Forces in Fatigued but Not Unfatigued Muscle. *Med Sci Sports Exerc*, 50(10), 2122-2131. doi:10.1249/MSS.0000000000001655
- Totzeck, M., Hendgen-Cotta, U. B., Luedike, P., Berenbrink, M., Klare, J. P., Steinhoff, H. J., . . . Rassaf, T. (2012). Nitrite regulates hypoxic vasodilation via myoglobin-dependent nitric oxide generation. *Circulation*, 126(3), 325-334. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.111.087155
- Trexler, E. T., Keith, D. S., Schwartz, T. A., Ryan, E. D., Stoner, L., Persky, A. M., & Smith-Ryan, A. E. (2019). Effects of Citrulline Malate and Beetroot Juice Supplementation on Blood Flow, Energy Metabolism, and Performance During Maximum Effort Leg Extension Exercise. *J Strength Cond Res*, 33(9), 2321-2329. doi:10.1519/JSC.0000000000003286
- van Tulder, M., Furlan, A., Bombardier, C., Bouter, L., & Editorial Board of the Cochrane Collaboration Back Review, G. (2003). Updated method guidelines for systematic reviews in the cochrane collaboration back review group. *Spine (Phila Pa 1976)*, 28(12), 1290-1299. doi:10.1097/01.BRS.0000065484.95996.AF
- Vandenboom, R., Grange, R. W., & Houston, M. E. (1993). Threshold for force potentiation associated with skeletal myosin phosphorylation. *Am J Physiol*, 265(6 Pt 1), C1456-1462. doi:10.1152/ajpcell.1993.265.6.C1456
- Vanhatalo, A., Bailey, S. J., Blackwell, J. R., DiMenna, F. J., Pavey, T. G., Wilkerson, D. P., . . . Jones, A. M. (2010). Acute and chronic effects of dietary nitrate supplementation on blood pressure and the physiological responses to moderate-intensity and incremental exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 299(4), R1121-1131. doi:10.1152/ajpregu.00206.2010
- Viner, R. I., Williams, T. D., & Schoneich, C. (2000). Nitric oxide-dependent modification of the sarcoplasmic reticulum Ca-ATPase: localization of cysteine target sites. *Free Radic Biol Med*, 29(6), 489-496. doi:10.1016/s0891-5849(00)00325-7
- Whitfield, J., Gamu, D., Heigenhauser, G. J. F., LJC, V. A. N. L., Spriet, L. L., Tupling, A. R., & Holloway, G. P. (2017). Beetroot Juice Increases Human Muscle Force without Changing Ca²⁺-Handling Proteins. *Med Sci Sports Exerc*, 49(10), 2016-2024. doi:10.1249/MSS.0000000000001321
- Wickham, K. A., McCarthy, D. G., Pereira, J. M., Cervone, D. T., Verdijk, L. B., van Loon, L. J. C., . . . Spriet, L. L. (2019). No effect of beetroot juice supplementation on exercise economy and performance in recreationally active females despite increased torque production. *Physiol Rep*, 7(2), e13982. doi:10.14814/phy2.13982
- Wylie, L. J., Mohr, M., Krstrup, P., Jackman, S. R., Ermiotadis, G., Kelly, J., . . . Jones, A. M. (2013). Dietary nitrate supplementation improves team sport-specific intense intermittent exercise performance. *Eur J Appl Physiol*, 113(7), 1673-1684. doi:10.1007/s00421-013-2589-8
- Wylie, L. J., Ortiz de Zevallos, J., Isidore, T., Nyman, L., Vanhatalo, A., Bailey, S. J., & Jones, A. M. (2016). Dose-dependent effects of dietary nitrate on the oxygen cost of moderate-intensity exercise: Acute vs. chronic supplementation. *Nitric Oxide*, 57, 30-39. doi:10.1016/j.niox.2016.04.004