

<https://doi.org/10.5232/ricyde2022.06701>

**Efecto de la suplementación con zumo de remolacha sobre el resultado obtenido en un test máximo incremental y en dos test de valoración de potencia del tren inferior en triatletas amateurs**  
**Effect of beetroot juice supplementation on the result obtained in a maximum incremental test and in two lower body power assessment tests in amateur triathletes**

**María Miralles-Mayol<sup>1</sup>, Javier Raya-González<sup>1</sup>, Alejandro Rodríguez Fernández<sup>2</sup> y Daniel Castillo<sup>3</sup>**

1. Facultad Ciencias de la Salud, Universidad Isabel I, Burgos. España
2. Universidad de León. España
3. Universidad de Valladolid. Soria. España

**Resumen**

El objetivo fue analizar los efectos de la suplementación con zumo de remolacha (ZR) sobre el rendimiento deportivo en triatletas amateur, medido mediante un protocolo de media sentadilla bilateral y unilateral, y con una prueba de salto con contramovimiento (CMJ), en situación de fatiga. Doce triatletas amateurs participaron en este estudio aleatorizado, a doble ciego y con un diseño cruzado compuesto por dos sesiones de evaluación que consistían en un test incremental hasta la extenuación ejecutado entre dos CMJ y dos pruebas de media sentadilla con 30 y 40 kg de manera bilateral y unilateral. La intervención nutricional consistía en ingerir 140 mL de ZR o placebo 2,5 h antes de la prueba. La suplementación con ZR mejoró el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) absoluto ( $p = 0,033$ ) y relativo ( $p = 0,011$ ) obtenido en la prueba incremental en comparación con placebo ( $4,12 \pm 0,70$  vs.  $3,72 \pm 0,90$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  y  $54,82 \pm 7,72$  vs.  $44,48 \pm 15,84$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ). Por otro lado, no se encontró una interacción significativa ( $p > 0,05$ ,  $n2p = 0,03-0,30$ ) para ninguna de las variables estudiadas en relación con el rendimiento bilateral y unilateral en media sentadilla ni CMJ entre la condición (placebo y ZR) y el tiempo (antes, PRE y después, POST). Estos resultados ponen de manifiesto que la suplementación con ZR ayuda a exhibir un mayor  $VO_{2max}$  en triatletas amateurs pero no reduce la fatiga en comparación con la condición de placebo.

**Palabras clave:** ayudas ergogénicas; deportes individuales; resistencia; prueba de esfuerzo; fatiga.

**Abstract**

The aim was to analyze the effects of beetroot juice supplementation (BJ) on sports performance in amateur triathletes, measured using a bilateral and unilateral half squat protocol, and a contramovement jump (CMJ), fatigue situation. Twelve amateur triathletes participated in this randomized, double-blind, crossover design consisting of two evaluation sessions consisting of an incremental test until exhaustion performed between two CMJs and two half-squat tests with 30 and 40 kg. bilateral and unilateral loading. The nutritional intervention consisted of taking 140 mL of BJ or placebo 2.5 h before the test. BJ supplementation improved absolute ( $p = 0,033$ ) and relative ( $p = 0,011$ ) oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ) in incremental test in comparison to placebo. ( $4,12 \pm 0,70$  vs.  $3,72 \pm 0,90$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  and  $54,82 \pm 7,72$  vs.  $44,48 \pm 15,84$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ). On the other side, no significant interaction ( $p > 0,05$ ,  $n2p = 0,03-0,30$ ) was found for any of the variables studied in relation to bilateral and unilateral performance in half squat or CMJ between the condition (placebo and BJ) and time (before, PRE and after, POST). These results show that supplementation with BJ helps to exhibit greater  $VO_{2max}$  in amateur triathletes but does not reduce fatigue compared to the placebo condition.

**Keywords:** ergogenic aids; individual sports; endurance; incremental test; fatigue.

**Correspondencia/correspondence:** Alejandro Rodríguez-Fernández  
Universidad de León. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. España  
Email: alrof@unileon.es

## Introducción

El triatlón es un deporte individual, multideportivo (i.e., natación, ciclismo y carrera a pie) y de alta exigencia a nivel condicional que requiere de una alta potencia aeróbica y de un elevado umbral anaeróbico (Millet; Vleck, y Bentley, 2011). El entrenamiento está enfocado en incrementar la potencia aeróbica máxima a la vez que pretende generar adaptaciones a nivel metabólico (tasa de oxidación de carbohidratos y ácidos grasos, tasa de utilización de la capacidad anaeróbica y tasa de acumulación de metabolitos) junto con una mejora en la capacidad de termorregulación (Burnley y Jones, 2007). Así pues, el rendimiento dependerá de la producción de energía sostenida y de la conversión de esta energía en movimiento de avance (Kennedy; Knight; Falk Neto; Uzzell, y Szabo, 2020). Aunque el punto de vista actual sobre el rendimiento en triatlón considera la cinética del consumo de oxígeno ( $\text{VO}_2$ ), es decir, el curso temporal del  $\text{VO}_2$  al inicio del ejercicio, o en mayor medida durante cualquier aumento de la intensidad, como determinante del rendimiento en triatlón (Burnley y Jones, 2007), el consumo de oxígeno máximo ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) es la variable más empleada por la literatura para determinar el rendimiento en triatletas. Numerosos estudios han reportado valores de  $\text{VO}_{2\text{max}}$  relativamente mayores en triatletas que en deportistas que practican deportes de resistencia de una sola modalidad (O'Toole y Douglas, 1995). El  $\text{VO}_{2\text{max}}$  de los triatletas se ha correlacionado con el rendimiento en el sector del ciclismo ( $r = -0.811$ ,  $p < 0.05$ ), de la carrera ( $r = -0.757$ ,  $p < 0.05$ ) (Papavassiliou; Zacharogiannis; Soultanakis; Paradisis, y Dagli Pagotto, 2019) y con el rendimiento general en triatlón (O'Toole y Douglas, 1995). Mientras que un alto  $\text{VO}_{2\text{max}}$  es claramente importante para el rendimiento en triatlón, la intensidad a la que se manifiesta el umbral anaeróbico, la capacidad de mantener el mayor porcentaje de la máxima capacidad durante un tiempo elevado (Bassett y Howley, 2000), es de interés para esta modalidad deportiva ya que parece ser un mejor predictor del rendimiento en eventos de resistencia (Millet y col., 2011). En triatletas entrenados, el umbral anaeróbico se manifiesta a una intensidad de entre 72-88% del  $\text{VO}_{2\text{max}}$  en cicloergómetro o del 80-85% del  $\text{VO}_{2\text{max}}$  en tapiz rodante (Sleivert y Rowlands, 1996). El tiempo total de un triatlón se ha correlacionado significativamente ( $r = -0.78$ ,  $p < 0.05$ ) con la velocidad a la que se manifiesta el umbral anaeróbico en ambos sexos (Sleivert y Rowlands, 1996).

Literatura previa ha mostrado evidencia de que la ingesta de ayudas ergogénicas como la cafeína, la creatina, la beta-alanina, el bicarbonato sódico y el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) pueden mejorar el rendimiento cuando se emplean los protocolos adecuados (Peeling, Binnie, Goods, Sim, y Burke, 2018). Concretamente, la suplementación con  $\text{NO}_3^-$  se ha convertido en una práctica popular debido a sus efectos positivos en la cinética del  $\text{VO}_2$  durante el ejercicio (Bailey, Winyard, Vanhatalo, Blackwell, Dimenna, Wilkerson, Tarr, Benjamin, y Jones, 2009), el incremento de la fuerza concéntrica y excéntrica (Rodríguez-Fernández, Castillo, Raya-González, Domínguez, y Bailey, 2020), el incremento del tiempo hasta la extenuación (Balsalobre-Fernández, Romero-Moraleda, Cupeiro, Peinado, Butragueño, y Benito, 2018) y una mejora del rendimiento en tareas de esprints repetidos (Thompson, Vanhatalo, Jell, Fulford, Carter, Nyman, Bailey, y Jones, 2016). Estas mejoras en el rendimiento pueden deberse a los efectos fisiológicos del  $\text{NO}_3^-$  como el incremento de la vasodilatación, la regulación del flujo sanguíneo muscular, la angiogénesis, la mejora del intercambio gaseoso y de nutrientes en la fibra muscular, la estimulación de la expresión génica o el incremento de la biogénesis y la eficiencia mitocondrial hasta la contracción-relajación muscular (Jones, 2014a, 2014b). Sin embargo, la evidencia es equívoca desde que otros estudios no han mostrado efectos positivos en esprints repetidos (Reynolds, Evans, Halpenny, Hughes, Jordan, Quinn, Hone, y Egan, 2020) o la economía de carrera (Balsalobre-Fernández y col.,

2018). Estas diferencias pueden ser debidas a las dosis empleadas o al nivel de los deportistas (Jones, 2014b), pero también a la naturaleza de las pruebas utilizadas para la valoración del rendimiento deportivo (Jones, 2014a). Vegetales de hoja verde y raíz (i.e., espinacas, rúcula) son los principales alimentos de la dieta en aporte de  $\text{NO}_3^-$ , sin embargo, el zumo de remolacha (ZR) ha sido el suplemento rico en  $\text{NO}_3^-$  más analizado en intervenciones de ejercicio por la literatura (McMahon, Leveritt, y Pavey, 2017).

La suplementación con ZR ha demostrado ser efectiva a corto plazo cuando su ingesta se produce entre dos horas y media o tres horas antes de la realización de ejercicio en tomas de 70-150 mL de ZR con concentraciones de 4,1 – 9,9 mmol of  $\text{NO}_3^-$ . (Jones, Thompson, Wylie, y Vanhatalo, 2018). La revisión sistemática y meta-análisis publicado por McMahon y col. (2017) determina que la suplementación con  $\text{NO}_3^-$  es probable que produzca resultados positivos cuando se evalúa la capacidad de resistencia mediante test de tiempo límite (ES = 0.33,  $p < 0.01$ ) en diferentes poblaciones (adultos sanos, ciclistas, corredores, kayakistas, etc.) y niveles competitivos (amateur, élite) así como para pruebas de diversa naturaleza (tapiz rodante, cicloergómetro, carrera en pista, ergómetro de kayak, etc.). Sin embargo, parece que suplementarse con  $\text{NO}_3^-$  es menos probable que sea eficaz para el rendimiento evaluado mediante pruebas incrementales (ES = 0.25,  $p > 0.05$ ) y también para determinadas pruebas de resistencia en deportistas de algunas modalidades deportivas. Por otro lado, parece que la ingesta de  $\text{NO}_3^-$  aumenta la concentración plasmática de nitrito y reduce la presión arterial en reposo y el consumo de oxígeno a nivel submáximo y puede, en algunas circunstancias, mejorar la tolerancia y el rendimiento al ejercicio en sujetos sanos que consumen 0,5 l de ZR al día con concentraciones de 6,2 mmol de  $\text{NO}_3^-$  durante seis días (Jones, 2014b). En esta línea, la ingesta de ZR ( $\sim 8,2 \text{ mmol} \cdot \text{day}^{-1}$ ) durante seis días, mostró un descenso del  $\text{VO}_2$  ( $\sim 7,0\%$ ) en un test a intensidad estable realizado en cicloergómetro y un incremento de la fuerza isométrica submáxima ( $\sim 30\%$ ) (Porcelli, Pugliese, Rejc, Pavei, Bonato, Montorsi, La Torre, Rasica, y Marzorati, 2016). Atendiendo a todo lo expuesto, se necesitan más trabajos para comprender las estrategias de suplementación óptimas a corto (efectos agudos) y largo plazo (efectos crónicos), qué población es más probable que se beneficie y bajo en qué condiciones es probable que el  $\text{NO}_3^-$  en la dieta sea más efectivos para el rendimiento.

Considerando la importancia de retrasar la aparición de fatiga muscular en los triatletas ya que podría estar asociada a una mejora del rendimiento, el principal objetivo de este estudio fue analizar los efectos de la suplementación con ZR sobre el rendimiento deportivo, medido mediante un protocolo de media sentadilla bilateral y unilateral, y con una prueba de salto vertical, en situación de fatiga en triatletas amateurs. Atendiendo a la literatura reportada anteriormente, la hipótesis de estudio fue que la suplementación con ZR mejorará el rendimiento en un test incremental hasta la fatiga, y los resultados en pruebas de valoración de la potencia del tren inferior en triatletas amateurs.

## Método

### *Participantes*

Catorce triatletas (edad:  $37,8 \pm 9,4$  años, estatura:  $178,2 \pm 4,8$  cm, peso corporal:  $75,07 \pm 8,25$  kg) de nivel amateur con un rango de 5-5,30 horas de duración en la realización de un triatlón de media distancia en el último año (1900m de natación, 90km de ciclismo y 21km de carrera a pie) participaron en este estudio. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: a) haber completado un triatlón de distancia olímpica durante el último año, b) haber entrenado como mínimo durante un año de forma continuada para triatlón, c) no haber tomado suplementos

nutricionales en los 3 meses previos al inicio del estudio (caféina,  $\beta$  alanina, creatina, bicarbonato sódico, glutamina, etc.) y d) no presentar enfermedades o disfunciones a nivel cardiovascular, respiratorio, metabólico, neurológico y ortopédico. De los 14 triatletas que se iniciaron en el estudio 12 de ellos fueron incluidos en el análisis final (Figura 1). Todos los participantes fueron informados de los beneficios, objetivos y procedimientos del estudio y firmaron el consentimiento informado. La investigación fue realizada de acuerdo a la Declaración de Helsinki (2013) y el protocolo fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Isabel I.

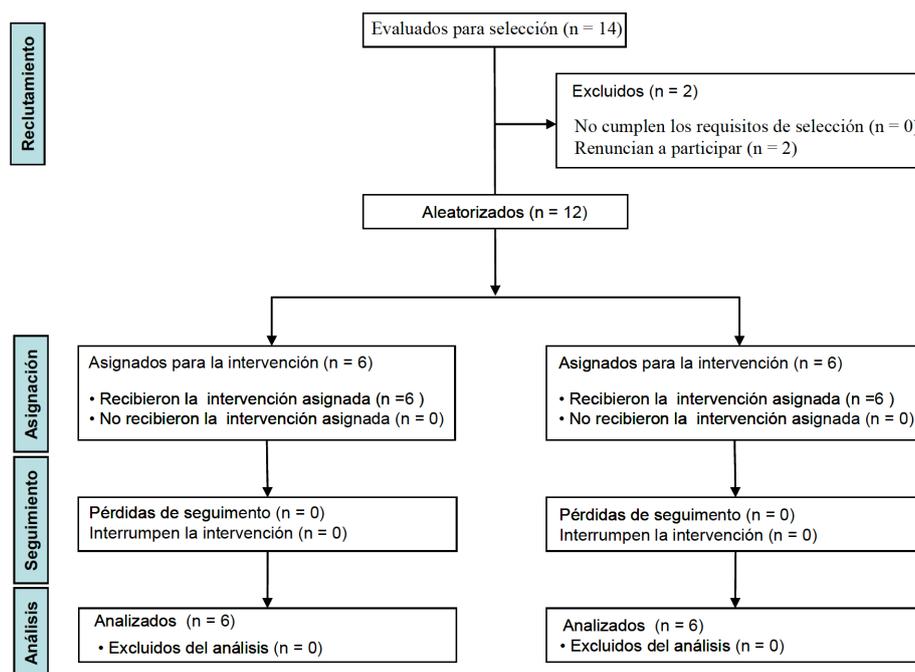


Figura 1. Diagrama de flujo CONSORT del progreso a través de las fases de un ensayo clínico aleatorizado paralelo de dos grupos.

### Procedimiento

Los participantes completaron dos sesiones de evaluación separadas por un periodo de 7 días. En cada sesión, los deportistas realizaron un test incremental, continuo y hasta la extenuación (GXT) en un tapiz rodante tras un calentamiento estandarizado de 10 minutos de duración. Antes (PRE) y después (POST) del GXT los triatletas realizaron un CMJ y un test de fuerza de media sentadilla (Figura 2). En cada una de las sesiones de evaluación se asignó a los participantes de forma aleatoria, a doble ciego y con un diseño cruzado para recibir una porción aguda de 140 mL de ZR rico en  $\text{NO}_3^-$  o un placebo sin contenido en  $\text{NO}_3^-$  que se ingerían 2.5 h antes del inicio de la evaluación. Las pruebas experimentales se completaron a la misma hora del día y en condiciones ambientales similares (20-22°C) en el laboratorio. Los participantes se abstuvieron de realizar cualquier esfuerzo físico de alta intensidad 72 h antes de cada sesión de evaluación.

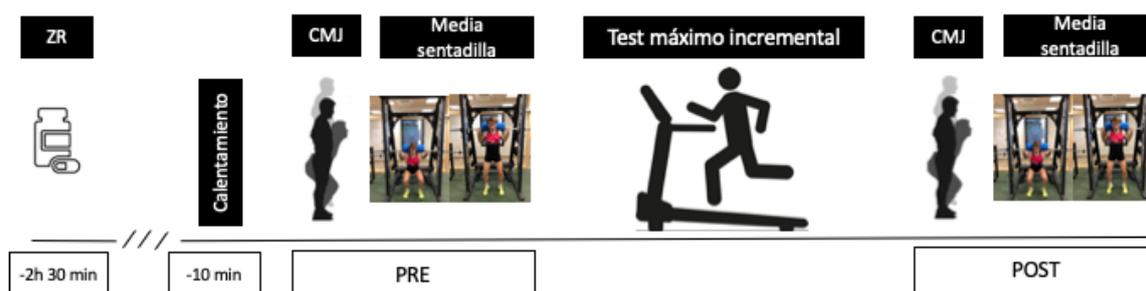


Figura 2. Secuencia temporal de las sesiones de evaluación.

**Intervención nutricional:** Los participantes eran citados 3 h antes del inicio de la sesión de evaluación en el laboratorio de fisiología del ejercicio y 2,5 h antes del inicio de la prueba ingerían la dosis correspondiente de ZR (Beet IT; James White Drinks Ltd., Ipswich, Reino Unido) o placebo (Wylie, Bailey, Kelly, Blackwell, Vanhatalo, y Jones, 2016). Dependiendo de la condición asignada, se suministraban 140 mL de ZR (2 x 70 mL) lo que proporcionaba 12 mmol de  $\text{NO}_3^-$  o placebo (2 x 70 mL) que proporcionaba  $<0,1$  mmol de  $\text{NO}_3^-$  en dos frascos de vidrio opacos idénticos, sin etiquetar, de 100 mL con la misma cantidad de sustancia cada uno (70 mL). El placebo se elaboró disolviendo 1 g de ZR en polvo (ECO Saludviva, Alicante, España) en un litro de agua con 3 cL de jugo de limón para imitar el sabor del suplemento comercial (Domínguez, Garnacho-Castaño, Cuenca, García-Fernández, Muñoz-González, de Jesús, Lozano-Estevan, Fernandes da Silva, Veiga-Herreros, y Maté-Muñoz, 2017). A pesar de que el ZR presente en el placebo podía tener un contenido mínimo de  $\text{NO}_3^-$ , la pequeña proporción de ZR utilizado en cada botella de placebo (0.015 g), junto con la ingesta restringida de alimentos ricos en  $\text{NO}_3^-$  las 48 h previas al inicio de cada sesión aseguraron que pudieran ser considerados como situación reducida de  $\text{NO}_3^-$  (Dominguez y col., 2017). Asimismo, se pidió a los participantes que se abstuvieran de cepillarse los dientes o usar un enjuague bucal, mascar chicle o dulces que pudieran contener una sustancia bactericida como clorhexidina o xilitol en las 24 horas previas a las sesiones de evaluación (Govoni, Jansson, Weitzberg, y Lundberg, 2008). Además, los participantes fueron instruidos para evitar la ingesta de caféina 24 h antes de la prueba y el alcohol durante la duración del estudio, al igual que se les pidió que reprodujeran la misma dieta durante las 24 horas anteriores a las dos sesiones de evaluación y evitaran alimentos ricos en  $\text{NO}_3^-$  (remolacha, rúcula, apio, nabo, espinaca, lechuga, escabeche, repollo, perejil y endivias). Dicha dieta consistió en 10% proteínas, 30% lípidos y 60% carbohidratos.

**Test máximo incremental:** Los participantes completaron un test incremental continuo y hasta la extenuación con ingesta de ZR o en condición de placebo en un tapiz rodante (Cosmos Pulsar 4.0®, Cosmos Sports & Medical, Nussdorf-Traunstein, Germany) tras la realización de un calentamiento estandarizado (4 minutos de pedaleo en un cicloergómetro, ejercicios de movilidad articular y 4 minutos corriendo a  $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). El test se iniciaba a una velocidad de  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  y la velocidad se incrementaba en  $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  cada 1 min con una pendiente constante del 1%. Si la última etapa no se completaba, la velocidad máxima alcanzada ( $v_{\text{GXT}}$ ) se calculaba utilizando la siguiente fórmula:  $S + (t / 60 \times 1)$ , donde S era el último estadio de velocidad completado ( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) y la t el tiempo (s) de la fase incompleta, con una alta fiabilidad previamente establecida ( $\text{CCI} = 0,91$ ) (Kuipers, Verstappen, Keizer, Geurten, y van Kranenburg, 1985). El  $\text{VO}_2\text{max}$  se determinó cuando los triatletas alcanzaron los siguientes criterios, a) una meseta de  $\text{VO}_2$  ( $\leq 150 \text{ mL}/\text{min}$ ), un  $\text{RER} \geq 1,15$  y una frecuencia cardíaca (FC) que fuese  $\pm 10$  latidos de la FC máxima teórica (Midgley, McNaughton, Polman, y Marchant 2007). El umbral anaeróbico ventilatorio ( $\text{VT}_2$ ) se estableció cuando se produjo un

aumento del equivalente ventilatorio de oxígeno ( $VE/VO_2$ ) y un aumento en el equivalente ventilatorio del dióxido de carbono ( $VE/VCO_2$ ) y un segundo aumento exponencial de la ventilación (VE). Por último, la FC se midió utilizando un pulsómetro (Polar Electro V800, Kempele, Finlandia). La percepción del esfuerzo percibido (RPE) se recopiló durante los últimos 5 s de cada estadio y también al final de la prueba ( $RPE_{max}$ ) utilizando la escala de Borg 0-10 (Foster, Florhaug, Franklin, Gottschall, Hrovatin, Parker, Doleshal, y Dodge, 2001).

*Valoración de la potencia del tren inferior:* La potencia del tren inferior se determinó mediante el test de salto vertical con contramovimiento bilateral (CMJbi) y unilateral con la pierna derecha (CMJdcha) e izquierda (CMJizda). Los triatletas realizaron dos intentos máximos para cada salto, separados por 45 s de descanso. Para ello, se pidió a los sujetos que colocaran las manos en las caderas y realizaran un salto vertical con el máximo esfuerzo aterrizando en posición vertical, con las rodillas estiradas, primero con las dos piernas y después con la derecha e izquierda individualmente. Para medir la altura del salto (cm) se utilizó la aplicación MyJump instalada en un iPhone 8 con sistema iOS 13.1.3 siguiendo el procedimiento de Balsalobre-Fernández y col. (2015). También se utilizó el test de media sentadilla para determinar la velocidad y potencia media propulsiva con las dos piernas (bilateral) y con pierna derecha e izquierda (unilateral), con la técnica adecuada y con dos pesos diferentes (30 y 40 kg) (Suarez-Arrones y col., 2018). Los participantes realizaron una posición de sentadilla excéntrica controlada hasta un ángulo de la rodilla de 90° seguido de una extensión de pierna concéntrica completa y se les pidió que ejecutaran de forma explosiva, a la velocidad máxima posible, la fase concéntrica. Completaron tres repeticiones con cada carga, primero con ambas piernas, luego con la derecha y finalmente, con la izquierda (con 30 segundos de descanso entre piernas) primero con 30 kg de carga y después de dos minutos de descanso con 40 kg de carga (Suarez-Arrones y col., 2018). Se consideró el mejor resultado para el análisis estadístico. En la realización de todas las pruebas se utilizó una máquina Smith (Technogym, Cesena, Italy) y un sistema de medición dinámico (SmartCoach Power Encoder SPE-35, SmartCoach Europe AB, Stockholm, Sweden). Los datos fueron registrados con el software SmartCoach V5.0.0.20 (SmartCoach Europe AB, Stockholm, Sweden) para calcular la velocidad media propulsiva (VMP) y la potencia media propulsiva (PMP) de cada repetición. Se llevó a cabo un periodo de tres semanas de familiarización para los saltos bilaterales y unilaterales durante tres sesiones de entrenamiento.

#### *Análisis estadístico de los datos*

Los resultados se presentan como media  $\pm$  desviación típica (DT). Todas las variables mostraron una distribución normal según el test de Shapiro-Wilk y se optó por realizar estadística paramétrica. Para analizar las diferencias entre las variables reportadas en el test máximo incremental por los triatletas en condición de placebo y suplemento con ZR se utilizó una prueba *t* para muestras relacionadas. La diferencia de medias (DM%) entre los resultados en placebo y con toma de ZR se calculó mediante la fórmula:  $DM\% = [(ZR - placebo) / placebo] \times 100$  en cada una de las variables. Para determinar las diferencias a efectos prácticos en cada variable entre las dos condiciones se utilizó el tamaño del efecto (TE) propuesto por Cohen. Tamaños del efecto menores a 0,2, entre 0,2-0,5, entre 0,5-0,8 y mayores de 0,8 fueron considerados trivial, bajo, moderado y alto, respectivamente. Además, un ANOVA de dos factores de medidas repetidas se utilizó para analizar las diferencias en el resultado de cada una de las variables atendiendo al factor tiempo (PRE y POST) y al factor condición (placebo y ZR). La esfericidad fue calculada utilizando el test Mauchly y las

correcciones de Greenhouse-Geiser. Además, los tamaños del efecto del test ANOVA fueron calculados utilizando  $\eta^2 p < 0,25$ ,  $0,26-0,63$  y  $>0,63$ , se consideraron como pequeños, medianos y grandes efectos, respectivamente. El análisis estadístico se realizó con el programa IBM SPSS Statistics for Windows (SPSS Inc, versión 26.0 Armonk, NY, EE. UU) y el nivel de significación se estableció en  $p \leq 0,05$ .

## Resultados

En la Tabla 1 se muestran las diferencias en el test máximo incremental en situación de placebo y bajo la ingesta de ZR. Se obtuvo que la suplementación con ZR mejoró significativamente el  $VO_2\text{max}$  absoluto ( $p = 0,033$ ) y el  $VO_2\text{max}$  relativo ( $p = 0,011$ ) en comparación con la situación de placebo, sin cambios en la vGXT y en el tGXT. Además, se observó que a intensidad de umbral anaeróbico los sujetos mostraban significativamente un mayor  $VO_2$  absoluto ( $p = 0,033$ ) y  $VO_2$  relativo ( $p = 0,024$ ) cuando los sujetos estaban suplementados con ZR respecto a cuando tomaban placebo sin cambios significativos en vVT2 ( $p = 0,777$ ).

Tabla 1. Resultados del test incremental continuo y hasta la extenuación.

	ZR	Placebo	p	DM (%)	ES
$VO_2\text{max}$ absoluto ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	4,12 ± 0,70	3,72 ± 0,90	0,011	10,65	0,50
$VO_2\text{max}$ relativo ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ )	54,82 ± 7,72	44,48 ± 15,84	0,033	23,24	0,88
vGXT ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	17,50 ± 2,07	17,33 ± 2,35	0,504	0,96	0,08
tGXT (min)	9,80 ± 2,03	9,78 ± 2,16	0,957	0,13	0,01
RER (UA)	1,10 ± 0,10	1,17 ± 0,20	0,293	-5,92	-0,46
FC (ppm)	180,09 ± 11,29	180,27 ± 12,43	0,957	-0,10	-0,02
RPE (UA)	10,00 ± 0,00	10,00 ± 0,00	-	-	-
VT2 $VO_2$ absoluto ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )	3,64 ± 0,55	3,31 ± 0,72	0,024	9,91	0,52
VT2 $VO_2$ relativo ( $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ )	48,40 ± 7,63	38,44 ± 13,51	0,033	25,91	0,94
vVT2 ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	14,83 ± 1,85	14,91 ± 0,72	0,777	-0,56	-0,04
tVT2 (min)	7,19 ± 1,89	7,18 ± 2,00	0,980	0,09	0,01
VT2%	79,08 ± 21,91	80,39 ± 22,16	0,286	-1,63	-0,30
VT2RER (UA)	0,95 ± 0,05	1,06 ± 0,18	0,065	-10,36	-0,95
VT2FC (ppm)	159,73 ± 35,93	168,73 ± 13,70	0,400	-5,33	-0,36
VT2RPE (UA)	5,33 ± 1,23	4,58 ± 1,00	0,108	16,36	0,67

ZR: zumo de remolacha; p: nivel de significación; DM: diferencia de medias; ES: tamaño del efecto;  $VO_2\text{max}$ : consumo máximo de oxígeno; vGXT: velocidad final en el test incremental; tGXT: tiempo final en el test incremental; RER: cociente de intercambio respiratorio; FC: frecuencia cardíaca, RPE: percepción subjetiva del esfuerzo; VT2: umbral anaeróbico; vVT2: velocidad en el umbral anaeróbico; tVT2 = tiempo hasta el umbral anaeróbico.

En la Tabla 2 se muestran las diferencias observadas en la VMP y PMP en media sentadilla bilateral con 30 y 40 kg de carga de los deportistas cuando tomaban la suplementación de ZR y en condición de placebo antes (PRE) y después (POST) del test máximo incremental. No se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ,  $n^2 p = 0,03-0,30$ ) en relación con la VMP y PMP en media sentadilla bilateral con 30 y 40 kg de carga entre ambos momentos analizados. No obstante, se mostraron resultados significativamente diferentes entre los valores pre y post al test máximo incremental en la condición de placebo en VMP30 ( $p < 0,001$ ) y PMP30 ( $p = 0,001$ ), y en la condición de suplementación con ZR en PMP30 entre antes y después del test máximo incremental ( $p = 0,043$ ). Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en las variables VMP40 y PMP40 en cada condición.

Tabla 2. Resultados de velocidad y potencia media de la fase propulsiva en media sentadilla bilateral obtenidos por los triatletas antes (PRE) y después (POST) del test máximo incremental tras suplementarse con zumo de remolacha y en condición de placebo.

		PRE	POST	p	DM (%)	p; F; Eta Square
VMP30 (m·s <sup>-1</sup> )	ZR	0,81 ± 0,11	0,83 ± 0,15	0,260	2,69	0,052; 4,76; 0,30
	Placebo	0,78 ± 0,14	0,84 ± 0,12	<0,001	8,49	
		p		0,747		
PMP30 (m·s <sup>-1</sup> )	ZR	263,48 ± 49,21	284,36 ± 75,74	0,043	7,93	0,161; 2,26; 0,17
	Placebo	249,13 ± 68,13	285,13 ± 68,52	0,001	14,45	
		p		0,580		
VMP40 (m·s <sup>-1</sup> )	ZR	0,73 ± 0,12	0,76 ± 0,15	0,084	4,68	0,592; 0,31; 0,03
	Placebo	0,74 ± 0,13	0,76 ± 0,14	0,160	2,82	
		p		0,842		
PMP40 (m·s <sup>-1</sup> )	ZR	297,06 ± 59,96	322,17 ± 83,37	0,105	8,45	0,410; 0,73; 0,06
	Placebo	311,50 ± 79,25	322,34 ± 82,89	0,150	3,48	
		p		0,550		

VMP30: velocidad media propulsiva con 30 kg de carga; PMP30: potencia media propulsiva con 30 kg de carga; VMP40: velocidad media propulsiva con 40 kg de carga; PMP40: potencia media propulsiva con 40 kg de carga; ZR: zumo de remolacha; p: nivel de significación; DM: diferencia de medias.

En la tabla 3 se muestran las diferencias entre la suplementación con ZR y en condición de placebo antes y después del test máximo incremental en el salto vertical bilateral y unilateral. Los triatletas en condición de placebo y suplementados con ZR no mostraron cambios significativos ( $p > 0,05$ ,  $n^2_p = 0,03-0,21$ ) en ninguna de las variables analizadas tales como CMJbi, CMJdcha y CMJizda.

Tabla 3. Resultados del salto vertical bilateral y unilateral por los triatletas antes (PRE) y después (POST) del test máximo incremental tras suplementación con ZR y en condición de placebo.

		PRE	POST	p	DM (%)	p; F; Eta Square
CMJbi (cm)	ZR	24,72 ± 4,64	25,09 ± 5,35	0,584	1,49	0,537; 0,41; 0,04
	Placebo	25,17 ± 5,56	26,09 ± 5,41	0,135	3,66	
		p		0,189		
CMJdcha (cm)	ZR	11,20 ± 3,46	11,04 ± 3,18	0,704	1,41	0,529; 0,43; 0,05
	Placebo	10,91 ± 2,26	11,38 ± 3,36	0,528	4,33	
		p		0,958		
CMJizda (cm)	ZR	12,02 ± 2,84	12,48 ± 3,41	0,297	3,85	0,607; 0,28; 0,03
	Placebo	12,31 ± 3,33	12,43 ± 3,73	0,827	1,00	
		p		0,809		

CMJbi: salto en contramovimiento con dos piernas; CMJdcha: salto con contramovimiento con la pierna derecha; CMJizda: salto con contramovimiento con la pierna izquierda; ZR: zumo de remolacha; p: nivel de significación; DM: diferencia de medias.

## Discusión

La suplementación con ayudas ergogénicas como el ZR es uno de los factores que ayudan a optimizar el rendimiento deportivo (Peeling y col., 2018). Si bien, los efectos de la suplementación mediante ZR en triatlón no han mostrado una evidencia clara. Así pues, el objetivo principal de este estudio fue analizar los efectos de la suplementación con ZR sobre el rendimiento deportivo (potencia del tren inferior), medido mediante un protocolo de media sentadilla y de CMJ, ambos de forma bilateral y unilateral tras la realización de un test máximo incremental en triatletas amateurs. La novedad de este estudio reside en que es el

primer trabajo que analiza el efecto de la suplementación con ZR sobre la fatiga producida atendiendo al resultado obtenido en media sentadilla en triatletas amateurs. Los principales resultados mostraron que la suplementación con ZR ha demostrado incrementar el  $\text{VO}_2\text{max}$  y el  $\text{VO}_2$  a nivel umbral anaeróbico (VT2) tanto absoluto ( $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) como relativo ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) obtenidos en un test máximo incremental. Sin embargo, no se obtuvieron incrementos en la velocidad final en el test incremental, en la velocidad a la cual los triatletas manifiestan el umbral anaeróbico o en la velocidad y potencia propulsiva en la realización de una sentadilla antes o después de un test incremental entre la situación de suplementación y placebo.

Estudios previos no han mostrado efectos positivos de la suplementación aguda de una sola dosis de ZR en el rendimiento, tanto en el tiempo hasta la extenuación en test incrementales en ciclistas amateurs (Bescós, Rodríguez, Iglesias, Ferrer, Iborra, y Pons, 2011) como en la distancia recorrida en un test realizado en cicloergómetro durante 40 minutos en triatletas amateur altamente entrenados (Bescós, Ferrer-Roca, Galilea, Roig, Drobnic, Sureda, Martorell, Cordova, Tur, y Pons, 2012; Cermak, Res, Stinkens, Lundberg, Gibala, y van Loon, 2012). Por el contrario, Lansley, Winyard, Bailey, Vanhatalo, Wilkerson, Blackwell, Gilchrist, Benjamin, y Jones (2011) mostraron una reducción del 2,7% en el tiempo en completar 16.1 km y un incremento del 6,0% en la potencia en ciclistas amateurs que competían a nivel de club. Estos resultados abrieron la posibilidad de utilizar ZR de forma aguda como una ayuda ergogénica efectiva. En esta línea, los resultados del presente estudio mostraron que a pesar de un incremento del  $\text{VO}_2\text{max}$  de los triatletas no se produjo un incremento de la velocidad máxima alcanzada en un test incremental, el tiempo hasta la extenuación y en la velocidad a la que se manifiesta el umbral anaeróbico de manera significativa. Sin embargo, si analizamos los datos de manera individual encontramos que tanto la velocidad máxima como el tiempo hasta la extenuación han sido mayores cuando los triatletas estaban suplementados con ZR. Nuestros resultados están de acuerdo con estudios previos que muestran que una única dosis de 140 mL de ZR con una alta concentración de  $\text{NO}_3^-$  no incrementa de forma significativa el rendimiento (Cermak y col., 2012). No obstante, estos efectos parecen ser independientes de los efectos del ZR sobre el ejercicio realizado a intensidad submáxima (Wylie, Kelly, Bailey, Blackwell, Skiba, Winyard, Jeukendrup, Vanhatalo, y Jones, 2013).

El umbral anaeróbico es considerado un factor que discrimina mejor el rendimiento cardiorrespiratorio que el  $\text{VO}_2\text{max}$  (Bassett y Howley, 2000). Pinna, Roberto, Milia, Marongiu, Olla, Loi, Migliaccio, Padulo, Orlandi, Tocco, Concu, y Crisafulli (2014), obtuvieron un descenso del coste energético aeróbico a una intensidad del umbral anaeróbico en nadadores amateurs de categoría master tras seis días de suplementación con ZR. Las bases mecanicistas por las cuales la ingestión de  $\text{NO}_3^-$  reduce el coste de la realización de ejercicios submáximos no están claras (Bailey, Fulford, Vanhatalo, Winyard, Blackwell, DiMenna, Wilkerson, Benjamin, y Jones, 2010). Se ha aceptado que el NO está implicado en la regulación del consumo de  $\text{O}_2$  mitocondrial. En este sentido, la eficiencia observada tras la suplementación con ZR puede estar relacionada con una reducción de la fuga de protones mitocondrial o con un deslizamiento de la bomba de protones (Bailey y col., 2009) o con los efectos reguladores del NO sobre los procesos de consumo de ATP en el bombeo de calcio del retículo sarcoplasmático (Viner, Williams, y Schoneich, 2000). Existe evidencia que sugiere que el NO aumenta la eficiencia de la fosforilación oxidativa en mitocondrias aisladas (Clerc, Rigoulet, Leverve, y Fontaine 2007). Los resultados de este estudio han mostrado que a nivel umbral los triatletas presentaban un mayor  $\text{VO}_2$  (relativo y absoluto) tras la suplementación con ZR que en situación de placebo, sin una mejora en la velocidad, en el tiempo hasta la extenuación o cambios en el resto de variables (FC y RPE). Esta falta de

incremento del rendimiento puede ser debida a la dosis de ZR ya que en este estudio los triatletas ingerían una dosis aguda (140 mL) 2.5 h antes de la prueba mientras que estudios previos que han mostrado una reducción del  $VO_2$  a intensidades submáximas, han usado dosis crónicas de 3 (Larsen, Weitzberg, Lundberg, y Ekblom 2007) o 6 (Bailey y col. 2009; Pinna y col. 2014) días.

Uno de los retos de los triatletas es retrasar la aparición de fatiga muscular ya que les ayudaría a obtener mejores resultados y a disminuir el riesgo lesivo (Sleivert y Rowlands 1996). Por ello, sería interesante profundizar en un análisis de la fatiga neuromuscular, entendida como la disminución de los resultados en pruebas de valoración del tren inferior. En este sentido, en nuestro estudio no se encontró una interacción significativa para ninguna de las variables estudiadas (VMP30, PMP30, VMP40, PMP40, CMJbi, CMJdcha y CMJizda) entre la condición (placebo y ZR) y el tiempo (PRE y POST). Así pues, estos resultados ponen de manifiesto que la suplementación con ZR en triatletas amateurs tiene un efecto similar a cuando dichos triatletas no son suplementados (i.e., placebo) y que, por tanto, no estaría indicada su ingesta de cara a mitigar la aparición de fatiga neuromuscular, si bien sería beneficiosa su suplementación de cara a conseguir un mayor  $VO_2$  que pueda permitirles obtener un mejor rendimiento deportivo.

En la literatura científica, el salto vertical (e.g., CMJ) ha sido utilizado para conocer el nivel de potencia del tren inferior porque es la tarea más natural para realizar en el campo, de una manera sencilla y sin gran coste económico en deportistas de todos los niveles (Boullosa y Tuimil 2009). Algunos estudios han relacionado la obtención de poca altura en el salto vertical con mayor riesgo de lesión (Beyer, Hale, Hellem, Mumbleau, Schilaty, y Hewett 2020; Mehl, Diermeier, Herbst, Imhoff, Stoffels, Zantop, Petersen, y Achtnich 2018), por ello es interesante conocer si se produce un descenso en la capacidad de salto tras la situación de fatiga (i.e., test incremental hasta la extenuación de laboratorio). En este estudio, no se han encontrado diferencias en el resultado obtenido del CMJ antes y después de la prueba de esfuerzo ni en placebo ni tomando ZR. Este hallazgo podría indicar que suplementar con ZR a triatletas no influye en los cambios en salto tras una situación de fatiga y, por tanto, dicha suplementación no influye como factor decisivo en la fatiga neuromuscular.

Esta investigación no está exenta de limitaciones siendo la primera de ellas el número de participantes dado que nuestra muestra estaba compuesta por 12 triatletas, por lo que se sugiere que un mayor número de participantes podría ayudar a generalizar los resultados para otras poblaciones. Una segunda limitación sería que no se ha controlado la carga de entrenamiento realizada durante el periodo de intervención la cual podría afectar al rendimiento de las pruebas realizadas. Además, una tercera limitación podría ser que no se analizaron los niveles de NO en sangre previos y posteriores a la suplementación con ZR lo que nos podría informar sobre la efectividad del suplemento.

## Conclusiones

La ingesta de ZR en una única dosis de 140 mL con una alta concentración de  $NO_3^-$  está recomendada para obtener incrementos en el  $VO_{2max}$  (absoluto y relativo) y en el  $VO_2$  en el umbral anaeróbico que pueda permitir a los triatletas alcanzar un mayor rendimiento deportivo, aunque no se han obtenido mejoras en la velocidad máxima alcanzada en un test incremental ni en la velocidad a la cual se manifiesta el umbral anaeróbico. Además, la suplementación con ZR, a pesar de producir mayores incrementos en el  $VO_{2max}$ , no implica una mayor fatiga neuromuscular del tren inferior, valoradas mediante la velocidad y la potencia en un test de media sentadilla y la altura en salto vertical antes y después de la realización de un test incremental hasta la extenuación.

## Referencias

- Bailey, S. J.; Fulford, J.; Vanhatalo, A.; Winyard, P. G.; Blackwell, J. R.; DiMenna, F. J.; Wilkerson, D. P.; Benjamin, N., & Jones, A.M. (2010). Dietary nitrate supplementation enhances muscle contractile efficiency during knee-extensor exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 109(1), 135-148.  
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00046.2010>
- Bailey, S. J.; Winyard, P.; Vanhatalo, A.; Blackwell, J. R.; Dimenna, F. J.; Wilkerson, D. P.; Tarr, J.; Benajmin, N., & Jones, A.M. (2009). Dietary nitrate supplementation reduces the O<sub>2</sub> cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 107(4), 1144-1155.  
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00722.2009>
- Balsalobre-Fernandez, C.; Glaister, M., & Lockey, R. A. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, 33(15), 1574-1579.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2014.996184>
- Balsalobre-Fernández, C.; Romero-Moraleda, B.; Cupeiro, R.; Peinado, A. B.; Butragueño, J., & Benito, J. (2018). The effects of beetroot juice supplementation on exercise economy, rating of perceived exertion and running mechanics in elite distance runners: A double-blinded, randomized study. *PLoS ONE*, 13(7), e0200517.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200517>
- Bassett, D. R. J., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 70-84.  
<https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
- Bescós, R.; Ferrer-Roca, V.; Galilea, P. A.; Roig, A.; Drobnic, F.; Sureda, A.; Martorell, M.; Cordova, A.; Tur, J.A., & Pons, A. (2012). Sodium nitrate supplementation does not enhance performance of endurance athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(12), 2400-2409.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182687e5c>
- Bescós, R.; Rodríguez, F. A.; Iglesias, X.; Ferrer, M. D.; Iborra, E., & Pons, A. (2011). Acute administration of inorganic nitrate reduces VO<sub>2peak</sub> in endurance athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(10), 1979-1986.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318217d439>
- Beyer, E. B.; Hale, R. F.; Hellem, A. R.; Mumbleau, A. M.; Schilaty, N. D., & Hewett, T. E. (2020). Inter and intra-rater reliability of the drop vertical jump (DVJ) assessment. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 15(5), 770-775.  
<https://doi.org/10.26603/ijsp20200770>
- Boullosa, D. A., & Tuimil, J. L. (2009). Postactivation potentiation in distance runners after two different field running protocols. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(5), 1560-1565.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a3ce61>
- Burnley, M., & Jones, A. M. (2007). Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *European Journal of Sport Science*, 7(2), 63-69.  
<https://doi.org/10.1080/17461390701456148>

- Miralles-Mayol, M.; Raya-González, J.; Rodríguez-Fernández, A., y Castillo, D. (2022). Efecto de la suplementación con zumo de remolacha sobre el resultado obtenido en un test máximo incremental y en dos test de valoración de potencia del tren inferior en triatletas amateurs. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*. 67(18), 1-14. <https://doi.org/10.5232/ricyde2022.06701>
- Cermak, N. M.; Res, P.; Stinkens, R.; Lundberg, J. O.; Gibala, M. J., & van Loon, L. J. C. (2012). No improvement in endurance performance after a single dose of beetroot juice. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 22(6), 470-478. United States.  
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.22.6.470>
- Clerc, P.; Rigoulet, M.; Leverve, X., & Fontaine, E. (2007). Nitric oxide increases oxidative phosphorylation efficiency. *Journal of Bioenergetics and Biomembranes*, 39(2), 158-166.  
<https://doi.org/10.1007/s10863-007-9074-1>
- Dominguez, R.; Garnacho-Castano, M. V.; Cuenca, E.; Garcia-Fernandez, P.; Munoz-Gonzalez, A.; de Jesus, F.; Lozano-Estevan, M. D. C.; Fernandes da Silva, S.; Veiga-Herreros, P., & Maté-Muñoz, J.L. (2017). Effects of beetroot juice supplementation on a 30-s high-intensity inertial cycle ergometer test. *Nutrients*, 9(12), 1360.  
<https://doi.org/10.3390/nu9121360>
- Foster, C.; Florhaug, J. A.; Franklin, J.; Gottschall, L.; Hrovatin, L. A.; Parker, S.; Doleshal, P., & Dodge, C.A. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109-115.  
<https://doi.org/10.1519/00124278-200102000-00019>
- Gonzalo-Skok, O.; Tous-Fajardo, J.; Suarez-Arrones, L.; Arjol-Serrano, J. L.; Casajús, J. A., & Mendez-Villanueva, A. (2017). Single-leg power output and between-limbs imbalances in team-sport players: Unilateral versus bilateral combined resistance training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 106-114.  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0743>
- Govoni, M.; Jansson, E. A.; Weitzberg, E., & Lundberg, J. O. (2008). The increase in plasma nitrite after a dietary nitrate load is markedly attenuated by an antibacterial mouthwash. *Nitric Oxide: Biology and Chemistry*, 19(4), 333-337.  
<https://doi.org/10.1016/j.niox.2008.08.003>
- Jones, A. M. (2014a). Influence of dietary nitrate on the physiological determinants of exercise performance: A critical review. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition et Metabolisme*, 39(9), 1019-1028.  
<https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0036>
- Jones, A. M. (2014b). Dietary nitrate supplementation and exercise performance. *Sports Medicine*, 44 (Suppl 1), S35-45.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-014-0149-y>
- Jones, A. M.; Thompson, C.; Wylie, L. J., & Vanhatalo, A. (2018). Dietary Nitrate and Physical Performance. *Annual Review of Nutrition*, 38, 303-328.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-082117-051622>
- Kennedy, M. D.; Knight, C. J.; Falk Neto, J. H.; Uzzell, K. S., & Szabo, S. W. (2020). Futureproofing triathlon: expert suggestions to improve health and performance in triathletes. *BMC Sports Science, Medicine & Rehabilitation*, 12, 1.  
<https://doi.org/10.1186/s13102-019-0153-5>
- Kuipers, H.; Verstappen, F.; Keizer, H.; Geurten, P., & van Kranenburg, G. (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *International Journal of Sports Medicine*, 6(04), 197-201.  
<https://doi.org/10.1055/s-2008-1025839>

- Miralles-Mayol, M.; Raya-González, J.; Rodríguez-Fernández, A., y Castillo, D. (2022). Efecto de la suplementación con zumo de remolacha sobre el resultado obtenido en un test máximo incremental y en dos test de valoración de potencia del tren inferior en triatletas amateurs. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 67(18), 1-14. <https://doi.org/10.5232/ricyde2022.06701>
- Lansley, K. E.; Winyard, P. G.; Bailey, S. J.; Vanhatalo, A.; Wilkerson, D. P.; Blackwell, J. R.; Gilchrist, M.; Benajmin, N., & Jones, A. M. (2011). Acute dietary nitrate supplementation improves cycling time trial performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(6), 1125-1131.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821597b4>
- Larsen, F. J., Weitzberg, E.; Lundberg, J. O., & Ekblom, B. (2007). Effects of dietary nitrate on oxygen cost during exercise. *Acta physiologica*, 191(1), 59-66.  
<https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2007.01713.x>
- 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 Medicine*, 47(4), 735-756.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-016-0617-7>
- Mehl, J.; Diermeier, T.; Herbst, E.; Imhoff, A. B.; Stoffels, T.; Zantop, T.; Petersen, W., & Achtnich, A. (2018). Evidence-based concepts for prevention of knee and ACL injuries. 2017 guidelines of the ligament committee of the German Knee Society (DKG). *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 138(1), 51-61.  
<https://doi.org/10.1007/s00402-017-2809-5>
- Midgley, A. W.; McNaughton, L. R.; Polman, R., & Marchant, D. (2007). Criteria for determination of maximal oxygen uptake: a brief critique and recommendations for future research. *Sports Medicine*, 37(12), 1019-1028.  
<https://doi.org/10.2165/00007256-200737120-00002>
- Millet, G. P.; Vleck, V. E., & Bentley, D. J. (2011). Physiological requirements in triathlon. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6, 184-204.  
<https://doi.org/10.4100/jhse.2011.62.01>
- O'Toole, M. L., & Douglas, P. S. (1995). Applied physiology of triathlon. *Sports Medicine*, 19(4), 251-267.  
<https://doi.org/10.2165/00007256-199519040-00003>
- Papavassiliou, T.M.; Zacharogiannis, E.; Soultanakis, H.; Paradisis, G., & Dagli Pagotto, F. (2019). Contribution of select physiological variables to sprint triathlon performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(8), 1311-1318.  
<https://doi.org/10.23736/S0022-4707.19.09190-4>
- Peeling, P.; Binnie, M. J.; Goods, P. S. R.; Sim, M., & Burke, L. M. (2018). Evidence-based supplements for the enhancement of athletic performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 28(2), 178-187.  
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0343>
- Pinna, M.; Roberto, S.; Milia, R.; Marongiu, E.; Olla, S.; Loi, A.; Migliaccio, G. M.; Padulo, J.; Orlandi, C.; Tocco, F.; Concu, A., & Crisafulli, A. (2014). Effect of beetroot juice supplementation on aerobic response during swimming. *Nutrients*, 6(2), 605-615.  
<https://doi.org/10.3390/nu6020605>
- Reynolds, C. M. E.; Evans, M.; Halpenny, C.; Hughes, C.; Jordan, S.; Quinn, A.; Hone, M., & Egan, B. (2020). Acute ingestion of beetroot juice does not improve short-duration repeated sprint running performance in male team sport athletes. *Journal of Sports Sciences*, 38(18), 2063-2070.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1770409>

Miralles-Mayol, M.; Raya-González, J.; Rodríguez-Fernández, A., y Castillo, D. (2022). Efecto de la suplementación con zumo de remolacha sobre el resultado obtenido en un test máximo incremental y en dos test de valoración de potencia del tren inferior en triatletas amateurs. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*. 67(18), 1-14. <https://doi.org/10.5232/ricyde2022.06701>

---

Porcelli, S.; Pugliese, L.; Rejc, E.; Pavei, G.; Bonato, M.; Montorsi, M.; La Torre, A.; Rasica, L., & Marzorati, M. (2016). effects of a short-term high-nitrate diet on exercise performance. *Nutrients*, 8(9), 534.  
<https://doi.org/10.3390/nu8090534>

Rodríguez-Fernández, A.; Castillo, D.; Raya-González, J.; Domínguez, R., & Bailey, S. J. (2021). Beetroot juice supplementation increases concentric and eccentric muscle power output. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(1), 80-84.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.05.018>

Sleivert, G. G., & Rowlands, D. S. (1996). Physical and physiological factors associated with success in the triathlon. *Sports Medicine*, 22(1), 8-18.  
<https://doi.org/10.2165/00007256-199622010-00002>

Suarez-Arrones, L.; Saez de Villareal, E.; Nuñez, F. J.; Di Salvo, V.; Petri, C.; Buccolini, A.; Maldonado, R. A.; Torreno, N., & Mendez-Villanueva, A. (2018). In-season eccentric-overload training in elite soccer players: Effects on body composition, strength and sprint performance. *Plos One*, 13(10), e0205332.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205332>

Thompson, C.; Vanhatalo, A.; Jell, H.; Fulford, J.; Carter, J.; Nyman, L.; Bailey, S. J., & Jones, A.M. (2016). Dietary nitrate supplementation improves sprint and high-intensity intermittent running performance. *Nitric Oxide: Biology and Chemistry*, 61, 55-61.  
<https://doi.org/10.1016/j.niox.2016.10.006>

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 Radical Biology & Medicine*, 29(6), 489-496.  
[https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(00\)00325-7](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(00)00325-7)

Wylie, L. J.; Bailey, S. J.; Kelly, J.; Blackwell, J. R.; Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2016). Influence of beetroot juice supplementation on intermittent exercise performance. *European Journal of Applied Physiology*, 116(2), 415-425.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-015-3296-4>

Wylie, L. J.; Kelly, J.; Bailey, S. J.; Blackwell, J. R.; Skiba, P. F.; Winyard, P. G.; Jeukendrup, A. E.; Vanhatalo, A., & Jones, A.M. (2013). Beetroot juice and exercise: pharmacodynamic and dose-response relationships. *Journal of Applied Physiology*, 115(3), 325-336.  
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00372.2013>