

Comportamiento de interleucinas proinflamatorias después de una contrarreloj de 20 minutos en ciclistas altamente entrenados

Proinflammatory interleukins behavior after functional threshold power in Highly Trained cyclist

*Javier Porras Alvarez, **Iván Leonardo Duque vera

*Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Colombia), **Universidad de Caldas (Colombia)

Resumen. El papel inflamatorio del esfuerzo físico intenso ha sido demostrado. Por tanto, el objetivo fue determinar el comportamiento de interleucinas proinflamatorias, después del test de umbral de potencia funcional en ciclistas. Participaron 29 ciclistas hombres, edad promedio 22 ± 3.9 años y experiencia en ciclismo de 6.9 ± 4.2 años. La prueba consistió en una contrarreloj de 20 minutos. Se cuantificaron IL-6, IL-8 y TNF- α antes y después de 15 minutos del test, mediante toma de muestra de 5mL de sangre venosa. Resultados. Las interleucinas no presentaron variación significativa entre los momentos pre y post test. El umbral de potencia funcional fue $UPF_{20.95\%}W = 256.8 \pm 35.6$. El perfil de potencia fue $UPF_{20.95\%}W \cdot kg^{-1} = 4.2 \pm 1$, el cual corresponde a la categoría de rendimiento físico "muy buena". Conclusiones. Las interleucinas IL-6, IL-8 y TNF- α no se incrementan significativamente cuando son cuantificadas 15 minutos post umbral de potencia funcional. Consecuentemente, determinar el umbral de potencia funcional no induce inflamación. Por tanto, el umbral de potencia funcional puede determinarse indistintamente en el periodo o mesociclo de entrenamiento dentro de la preparación anual de un ciclista, como herramienta para monitorear tanto el entrenamiento como el rendimiento físico en ciclistas.

Palabras Clave: Atletas; Ciclismo; Citocinas; Interleucinas; Sistema inmune

Abstract: The role of intense physical exertion in inflammation has been well-established. Thus, this study aimed to determine the behavior of proinflammatory interleukins following the functional threshold power test in cyclists. Materials and Methods: Twenty-nine male cyclists, with an average age 22 ± 3.9 years and an average cycling experience 6.9 ± 4.2 years, participated. The test comprised a 20-minute time trial. Interleukins IL-6, IL-8, and TNF- α were measured before and after 15 minutes of completing the test by collecting a 5mL sample of venous blood. Results: The concentration of the interleukins showed no significant between the pre-test and post-test moments. The functional threshold power was $FTP_{20.95\%}W = 256.8 \pm 35.6$. The power profile was $FTP_{20.95\%}W \cdot kg^{-1} = 4.2 \pm 1$. Conclusions: IL-6, IL-8, TNF- α interleukins do not significantly increase when quantified 15 minutes post functional threshold power. Determining the functional threshold power does not induce inflammation. Therefore, the functional threshold power can be determined indistinctly in the training period within a cyclist's annual training of a cyclist's annual preparation, as a tool to monitor both training and physical performance in cyclists.

Keywords: Athletes; Cycling; Cytokines; Interleukins; Immune system

Fecha recepción: 10-04-24. Fecha de aceptación: 19-09-24

Javier Porras Alvarez

javier.porras@uptc.edu.co

Introducción

El entrenamiento y las competiciones de ciclismo ocasionan microlesiones en el tejido muscular, lo que induce a un estado inflamatorio transitorio para reparar el tejido, proceso en el que participan diferentes sistemas y mediadores moleculares como las interleucinas (IL). En este sentido, las IL tienen funciones tanto anti como pro inflamatorias en los procesos de reparación de los tejidos, dentro de las IL pro-inflamatorias se encuentran IL-6, IL-8 y TNF- α (Dembic, 2015; Pratesi, Tarantini, & Di Bari, 2013). Las IL producidas y expresadas por fibras musculares durante el ejercicio, son denominadas mioquinas o mioquinas, dentro de ellas se encuentran IL-6 e IL-8, (Abbasi et al., 2013; Pedersen, 2012; Pedersen, Åkerström, Nielsen, & Fischer, 2007; Pratesi et al., 2013).

IL-6, además de su papel proinflamatorio, tiene múltiples efectos relacionados con el ejercicio. En este sentido, se ha indicado que IL-6 actúa como sensor de energía detectando los niveles de glucógeno muscular (Pedersen, 2012), que actúa como señal periférica de la homeostasis energética, al ofrecer información al hipotálamo sobre los niveles de energía del cuerpo (Jürimäe, Mäestu, Jürimäe, Mangus, & Von Duvillard, 2011) y que aumenta la oxidación de ácidos grasos en el miocito (Glund et al., 2009; O'Neill et al.,

2013; Pedersen, 2011). Estos efectos son potencialmente útiles para monitorear el efecto de un programa de entrenamiento.

IL-8, igualmente reportada como interleucina proinflamatoria, tiene efectos sistémicos, entre los que se encuentra, la regulación de la respuesta inmune al ejercicio, ayudando a reclutar células inmunes y a modular su función en los tejidos (Pratesi, Tarantini, & Di Bari, 2013), participando así en la recuperación muscular (Akerstrom et al., 2011). También se ha propuesto que la expresión local de esta IL estimula la angiogénesis (Frydelund-Larsen et al., 2007; Makiel, Suder, Targosz, Maciejczyk, & Haim, 2023; Mucci et al., 2000), lo cual contribuye a un mejor desempeño del metabolismo durante el ejercicio.

El Factor de Necrosis Tumoral alfa (TNF- α), es una citocina proinflamatoria que desempeña un papel importante en la respuesta inmunológica y en la regulación de la inflamación (Dembic, 2015; Devi et al., 2023). En el contexto del ejercicio físico, el aumento de los niveles de TNF- α es considerado una respuesta adaptativa, donde los altos niveles de TNF- α desencadenan procesos de reparación y remodelación en los tejidos musculares y conectivos, lo que contribuye a la adaptación en deportes de resistencia de larga duración (Gielen et al., 2003; Larsen, Lindal, Aukrust, Toft, & Aarsland T, 2002; Pratesi et al., 2013). La potencia

medida en vatios, es uno de los parámetros más utilizados actualmente para programar el entrenamiento y evaluar el rendimiento físico en ciclistas (Gorostiaga, Sánchez-Medina, & García-Tabar, 2022). En este sentido, la contrarreloj de 20 minutos de duración (P_{20}) (Allen & Coggan, 2014), es la prueba que más se ha popularizado en el ciclismo de ruta, la cual se correlaciona con una contrarreloj de una hora de duración (P_{60}) (F. Borszcz, Tramontin, Bossi, Carminatti, & Costa, 2018; Sanders, Taylor, Myers, & Akubat, 2017). Según Hallen & Coogan (2018), de acuerdo con los resultados obtenidos en P_{20} , por un lado, se determina lo que se conoce como umbral de potencia funcional (UPF), que es la potencia media de los 20 minutos de duración, pero restándole un 5%. Entonces el UPF corresponde al 95% de la potencia de P_{20} ($UPF_{20,95\%}W$), datos que se utilizan para establecer siete zonas de entrenamiento. Por otra parte, se determina el perfil de potencia, el cual se obtiene al dividir $UPF_{20,95\%}W$ sobre el peso corporal en kilogramos ($UPF_{20,95\%}W \cdot kg^{-1}$), este perfil de potencia clasifica a los ciclistas en ocho niveles de rendimiento físico.

La exigencia física de P_{20} , involucra un esfuerzo intenso y prolongado, que puede constituir un factor proinflamatorio, lo cual afectaría negativamente el rendimiento del deportista. Así mismo, el mantener esfuerzos intensos continuos y la falta de suficiente recuperación entre las sesiones de entrenamiento, han sido responsabilizados de producir un fenómeno inflamatorio sistémico, y al mismo tiempo, respuestas adaptativas sistémicas (Covarrubias & Horng, 2014; Gleeson, 2015; Jürimäe et al., 2011; Slusher, Zúñiga, & Acevedo, 2018; Tossige-Gomes et al., 2016). Por otra parte, el rol de las interleucinas, particularmente el de las miocinas, se ha asociado más al metabolismo energético que a la respuesta del sistema inmune en la inflamación (Pedersen, 2012). Por tanto, el objetivo de este estudio fue determinar el comportamiento de interleucinas proinflamatorias (IL-6, IL-8, y TNF- α) después de P_{20} en ciclistas de ruta altamente entrenados.

Materiales y métodos

Participaron 29 ciclistas hombres altamente entrenados adscritos a ligas de ciclismo, 23 del departamento de Boyacá y seis del departamento de Caldas. Colombia. Esta investigación es clasificada como "Investigación con riesgo mínimo" según lo establecido en el artículo 11 y siguientes de la resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia. El estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Facultad de Ciencias para la Salud de la Universidad de Caldas (CBFS-054) Colombia. Los ciclistas firmaron un documento de consentimiento informado y de pleno conocimiento de procedimientos que se llevaron a cabo antes, durante y después de las pruebas. Los ciclistas también fueron instruidos de abstenerse de realizar ejercicio físico intenso y de consumir bebidas que contengan cafeína durante 24 horas previas al protocolo de ejercicio físico y reportar rutina cotidiana habitual en la noche anterior con al menos siete horas de sueño reparador.

Los datos de peso, talla, IMC, porcentaje de grasa, masa libre de grasa y masa muscular fueron obtenidos mediante el dispositivo Tanita Ironman BC-1500®. La contrarreloj de 20 minutos, se llevó a cabo según lo descrito por Allen & Coogan (2018), utilizando cicloergómetro Tacx Vortex® y siguiendo las indicaciones del software Tacx®. En la prueba se utilizó la bicicleta de propiedad del ciclista. La prueba consistió en: 20 minutos de pedaleo previo denominado calentamiento, el cual está estandarizado en el software Tacx® y 20 minutos a una intensidad alta constante para determinar el umbral de potencia funcional y cinco minutos finales de recuperación activa. Durante la prueba, los participantes mantuvieron una cadencia de pedaleo de 90 rpm. Los datos obtenidos se consignaron en archivos TCX que se procesaron en el software Power Agent®. Durante la prueba se permitió únicamente el consumo de agua, ya que la hipoglucemia en el caso de que ocurra es bien tolerada por ciclistas altamente entrenados y no influye en el rendimiento físico (Grima, Marcén, Arroyo, & Ostáriz, 2020). Finalmente, se motivó verbalmente de forma estandarizada a mantener un ritmo constante y vigoroso de pedaleo, de manera que no terminara la prueba con la sensación de poder haberlo hecho mejor.

La determinación y cuantificación de interleucinas, se obtuvo mediante una muestra de sangre de 5mL, en proceso aséptico de punción venosa en el antebrazo del participante. Posteriormente la muestra fue centrifugada a 2000g durante 15 minutos. Las muestras de suero fueron conservadas en dispositivos plásticos y almacenadas a una temperatura de $-70^{\circ}C$, hasta su análisis. La cuantificación de las citocinas se realizó utilizando el panel Human Inflammation 20-Plex y de acuerdo al protocolo Procartaplex human inflammation 20plex, utilizando la tecnología Luminex xMAP, ref MAGPX12312702.

Para el análisis estadístico, los datos descriptivos se expresan en promedio (\pm DE). Previa confirmación del test de normalidad en la distribución de los datos, mediante prueba Kolmogorov-Smirnov, se utilizó la prueba t para muestras independientes. En el caso en que no se cumplieran con los criterios de normalidad de los datos se recurrió a una prueba no paramétrica (prueba de Wilcoxon). La significancia se aceptó cuando $p < 0.05$.

Resultados

Los datos demográficos de los participantes se muestran en la tabla 1.

La potencia media promedio de P_{20} , en conjunto de todos los ciclistas fue de 270.2 ± 37.5 vatios. El umbral de potencia funcional fue $UPF_{20,95\%}W = 256.8 \pm 35.6$. En la figura 1 se muestran los resultados individuales tanto de la potencia media como el $UPF_{20,95\%}W$.

El perfil de potencia, en la relación vatio kilogramo fue $UPF_{20,95\%}W \cdot kg^{-1} = 4.2 \pm 1$, el cual corresponde a la categoría de rendimiento físico "muy buena", categoría que está entre 4.09 a 4.80 w/kg, de acuerdo a las categorías pro-

puestas por Allen & Coggan (2018). Los resultados individuales se muestran en la figura 2.

Tabla 1.

Datos demográficos en promedio (DE) de los ciclistas

Variable	Promedio DE
Edad (años)	22 ± 3.9
Peso (kg)	61.7 ± 5.9
Talla (m)	1.7 ± 0.1
IMC	21.2 ± 1.2
Grasa %	14.04 ± 3.5
Masa libre de grasa (kg)	52.2 ± 5.2
Masa muscular (kg)	49.7 ± 5.5
Entrenamiento (años)	6.9 ± 4.2
Hemoglobina g/dL	15.3 ± 1
Hematocrito %	45.8 ± 2.8
Cadencia (rpm)	96.4 ± 5.1

Nota tabla 1. kg: kilogramo; m: metro; IMC: índice de masa corporal; rpm: revoluciones por minuto.

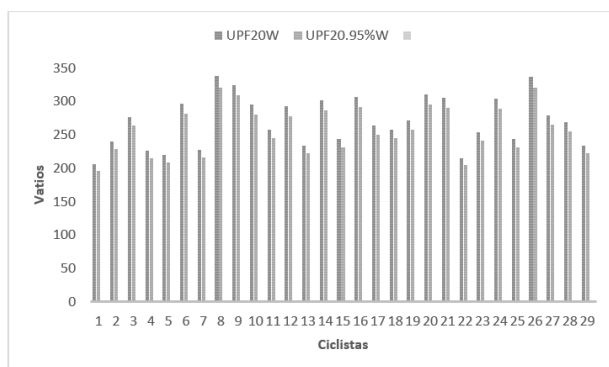


Figura 1. Umbral de potencia funcional (UPF). Nota figura 1. UPF20W: Umbral de potencia funcional sin restar el 5%

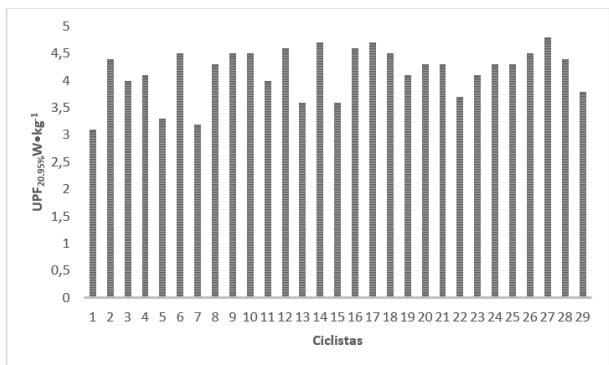


Figura 2. Perfil de potencia en la relación vatio kilogramo. Nota figura 2. Clasificación de ciclistas de acuerdo a la relación vatio kilogramo de peso corporal

Se evaluaron tres interleucinas en cada uno de los 29 ciclistas antes y después del test UPF_{20.95%W}. Los valores de las interleucinas no presentaron diferencia significativa pre-UPF_{20.95%W} comparado con post-UPF_{20.95%W} (tabla 2).

Tabla 2.

Valores promedio (DE) Interleucinas en plasma sanguíneo antes y 15min post-P₂₀

Citocina pg/mL	Pre-P ₂₀	Post-P ₂₀	Sig.
IL-6	4.54 ± 2.9	5.0 ± 2.79	0.447 W
IL-8	2.54 ± 0.9	2.66 ± 1.3	0.509 W
TNF-α	49.53 ± 31.75	51.07 ± 29.38	0.513 W

Nota tabla 2. IL: Interleucina; TNF-α: factor de necrosis tumoral alfa; W: Wilcoxon.

Discusión

IL-6, es una miocina que ha demostrado incrementarse significativamente en competiciones de resistencia de larga duración, como media maratón, maratón y ultra maratón (Abbasi et al., 2013; Bernecker et al., 2013; Krzemiński, Buraczewska, & Miśkiewicz, 2016; Petersen & Pedersen, 2005; Reihmane, Jurka, Tretjakovs, & Dela, 2013). Asimismo, después de un esfuerzo de 2.5 horas al 60-75% VO₂máx (Cosio-Lima, Desai, Schuler, Keck, & Scheeler, 2011) o después de tres horas de ciclismo al 57% de la intensidad máxima (Nieman, Jenkins, Gross, & Carmichael, 2007) o con 164km de ciclismo en ambiente caluroso (Luk et al., 2016) o una sesión aguda de entrenamiento interválico (Zwetsloot, John, Battista, & Shanelly, 2014). En el presente estudio, contrario a lo esperado, IL-6 no se incrementó significativamente después del UPF_{20.95%W}.

Ciertamente, los niveles de IL-6 son afectados por el nivel de acondicionamiento físico a largo plazo. En este sentido, se ha demostrado que IL-6 estimula la lipólisis en las fibras musculares tipo II (glucolíticas), pero no en las fibras musculares tipo I (oxidativas), estudio realizado en ratones (MacDonald, Wan, Frendo-Cumbo, Dyck, & Wright, 2013), esto explicaría en parte el no incremento de IL-6 en una prueba contrarreloj de 20 minutos en ciclistas altamente entrenados, porque estos ciclistas, como es bien sabido, presentan un mayor porcentaje de fibras tipo I respecto a tipo II, consecuentemente, el metabolismo predominante durante el entrenamiento y competición en ciclismo de ruta es el metabolismo oxidativo (ciclo del ácido cítrico), llevado a cabo por fibras musculares tipo I (oxidativas), que es la forma de entrenamiento en estos ciclistas. Por otra parte, la prueba de UPF_{20.95%W} no induce incremento significativo de niveles de IL-6 como producto de un proceso inflamatorio, debido a que la intensidad y la duración a la que se desarrolla esta prueba no son suficientes para inducir un aumento significativo de esta IL.

IL-8 por su parte, ha demostrado incrementarse significativamente en sesiones de ciclismo mayor a una hora, a intensidad moderada equivalente al 60-75-85% del VO₂max (Cosio-Lima et al., 2011) o en 164km de ciclismo en ambiente caluroso (Luk et al., 2016) o después de sesiones de ciclismo de entrenamiento por intervalos de alta intensidad (Zwetsloot et al., 2014). Los datos de nuestro estudio demuestran que IL-8 no se incrementa significativamente después del UPF_{20.95%W}, esto está acorde, tanto con el estudio de Makiel et al. (2023) quienes mencionan que el ejercicio submáximo no incrementa significativamente las concentraciones plasmáticas de IL-8 y con el estudio de Cosio-Lima et al. (2011) en el que se evidencia que se requiere ejercicio mayor a una hora, para un incremento significativo de esta IL. Por otra parte, la liberación de IL-8 durante el ejercicio, actúa localmente con una función probable de estimular la angiogénesis (Koch et al., 1992; Pedersen et al., 2007), hecho que desencadena adaptaciones vasculares y que favorecen la función fisiológica en entrenamiento y competición.

De igual forma que IL-6, determinar el $UPF_{20.95\%W}$ no induce incremento significativo de niveles de IL-8, como producto de un proceso inflamatorio, debido a que la intensidad y la duración a la que se desarrolla esta prueba no son suficientes para inducir un aumento significativo de esta IL.

TNF- α ha demostrado tener un aumento significativo en plasma con ejercicio de resistencia de larga duración como maratón, ultramaratón, media maratón (Bernecker et al., 2013; Krzemiński et al., 2016; Petersen & Pedersen, 2005) y también con el ejercicio de alta intensidad por intervalos (Zwetsloot et al., 2014). En el presente estudio, no se observó un incremento significativo de TNF- α después de $UPF_{20.95\%W}$. Al respecto, se ha demostrado que el ejercicio de resistencia de larga duración como el ciclismo de ruta, aumenta la concentración del receptor soluble de TNF (Ostrowski et al. 1999), lo que resulta en más TNF- α unido y por lo tanto se detecta menos concentración de TNF- α libre (Leng et al., 2008). Además, Reihmane et al. (2013) ha descrito que se requiere una duración de hasta 4 horas para inducir incremento significativo de TNF- α . Consecuentemente, el $UPF_{20.95\%W}$ incluido el calentamiento de 20 minutos, no indujo incremento significativo de TNF- α , medido 15 minutos post- $UPF_{20.95\%W}$. De igual forma que IL-6 e IL-8, la prueba de $UPF_{20.95\%W}$ no induce incremento significativo de niveles de TNF- α como producto de un proceso inflamatorio, debido a que la intensidad y la duración a la que se desarrolla esta prueba, no son suficientes para inducir un aumento significativo de esta IL.

El $UPF_{20.95\%W}$ o el FTP (Functional Threshold Power) por sus siglas en inglés, se correlaciona tanto con el umbral anaeróbico individual (Sanders et al., 2017) como con el umbral de lactato (Niño & Leguizamo, 2019; Valenzuela, Morales, Foster, Lucia, & de la Villa, 2018) y con el máximo estado estable del lactato (F. K. Borszcz, Tramontin, & Costa, 2019). Sin embargo, el $UPF_{20.95\%W}$ no es adecuado para determinar zonas de entrenamiento en ciclistas de diferentes niveles de rendimiento, debido a que en ciclistas de bajo nivel de rendimiento, el $UPF_{20.95\%W}$ sobrepasa tanto los umbrales mencionados anteriormente (Valenzuela, Alejo, ..., & 2023, 2023; Valenzuela et al., 2018) como el tiempo de llegar hasta al agotamiento en P_{20} (Sitko, Cirer-Sastre, & López-Laval, 2023), por eso se ha propuesto restar ocho o 10% al UPF y evaluar de forma independiente cada sujeto.

Respecto, al nivel de clasificación de rendimiento de los ciclistas del presente estudio, de acuerdo con Allen & Coggan (2018), el 76% tenían el mismo nivel de clasificación, el cual correspondió a la quinta categoría “muy buena” de las ocho categorías propuestas. Esta clasificación es basada en la relación de vatios con el peso corporal ($UPF_{20.95\%W} \cdot kg^{-1}$). No obstante, otra forma de clasificar a los ciclistas en niveles de formación, es la propuesta por McKay et al. (2021), en la que tienen en cuenta otros criterios como el ranking mundial y logros en diferentes eventos deportivos, según esta clasificación, los ciclistas hacían parte de la tercera categoría “altamente entrenados”, de las cinco

categorías propuestas.

Conclusión

Las interleucinas IL-6, IL-8 y TNF- α no se incrementan significativamente cuando son cuantificadas 15 minutos post umbral de potencia funcional. Determinar el umbral de potencia funcional no induce inflamación. Por tanto, el umbral de potencia funcional puede determinarse indistintamente en el periodo o mesociclo de entrenamiento dentro de la preparación anual de un ciclista, como herramienta para monitorear tanto el entrenamiento como el rendimiento físico de los ciclistas de ruta.

Perspectivas, recomendaciones y limitaciones

Puesto que las citocinas no están almacenadas en el músculo y que es necesario expresarlas génicamente, sintetizarlas y liberarlas al torrente sanguíneo, se sugiere realizar curva de al menos una hora post- $UPF_{20.95\%W}$, para observar el comportamiento de estas citocinas. Nuestro estudio incluyó participantes de ciclismo de resistencia de larga duración (ciclistas de ruta), próximos estudios deberían incluir participantes en ciclismo de velocidad (ciclistas de pista).

Referencias

- Abbasi, A., Fehrenbach, E., Hauth, M., Walter, M., Hudemann, J., Wank, V., ... Northoff, H. (2013). Changes in Spontaneous and LPS-induced ex vivo Cytokine Production and mRNA expression in Male and Female Athletes Following Prolonged Exhaustive Exercise. *Exercise Immunology Review*, 19, 8–28.
- Akerstrom, T., Steensberg, A., Keller, P., Keller, C., Penkowa, M., & Pedersen, B. K. (2011). Retraction: Exercise induces interleukin-8 expression in human skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 589(Pt13), 3407. <https://doi.org/https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.213231>
- Allen, H., & Coggan, A. (2014). *Entrenar y correr con potenciómetro* (1st ed.). Badalona (España): Editorial Paidotribo.
- Bernecker, C., Scherr, J., Schinner, S., Braun, S., Scherbaum, W. A., & Halle, M. (2013). Evidence for an exercise induced increase of TNF- α and IL-6 in marathon runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 23(2), 207–214. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01372.x>
- Borszcz, F. K., Tramontin, A. F., & Costa, V. P. (2019). Is the functional threshold power interchangeable with the maximal lactate steady state in trained cyclists? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(8), 1029–1035. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0572>
- Borszcz, F., Tramontin, A., Bossi, A., Carminatti, L., & Costa, V. (2018). Functional Threshold Power in

- Cyclists: Validity of the Concept and Physiological Responses. *International Journal of Sports Medicine*, 39(10), 737–742. <https://doi.org/10.1055/s-0044-101546>
- Cosio-Lima, L., Desai, B., Schuler, P., Keck, L., & Scheeler, L. (2011). A comparison of cytokine responses during prolonged cycling in normal and hot environmental conditions. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 2, 7. <https://doi.org/https://doi.org/10.2147/OAJSM.S15980>
- Covarrubias, J. A., & Horng, T. (2014). IL-6 strikes a balance in metabolic inflammation. *Cell Metabolism*, 19(6), 898–899. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2014.05.009>
- Dembic, Z. (2015). *The cytokines of the immune system: the role of cytokines in disease related to immune response*. Academic Press.
- Devi, A. I., Rejeki, P. S., Argarini, R., Shakila, N., Yosnengsih, Y., Ilmi, S. B. Z., ... Herawati, L. (2023). Respuesta de los niveles de TNF- α y niveles de glucosa en sangre después del ejercicio agudo intermitente de alta intensidad en mujeres con sobrepeso (Response of TNF- α Levels and Blood Glucose Levels after Acute High-Intensity Intermittent Exercise in Overweight Women). *Retos*, 48, 101–105. <https://doi.org/10.47197/RETOS.V48.94305>
- Frydelund-Larsen, L., Penkowa, M., Akerstrom, T., Zankari, A., Nielsen, S., & Pedersen, B. K. (2007). Experimental Physiology Exercise induces interleukin-8 receptor (CXCR2) expression in human skeletal muscle. *The Authors. Journal Compilation C*, 92, 233–240. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2006.034769>
- Gielen, S., Adams, V., Möbius-Winkler, S., Linke, A., Erbs, S., Yu, J., & Hambrecht, R. (2003). Anti-inflammatory effects of exercise training in the skeletal muscle of patients with chronic heart failure. *Journal of the American College of Cardiology*, 42(5), 861–868. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(03\)00848-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0735-1097(03)00848-9)
- Gleeson, M. (2015). Effects of exercise on immune function. *Sports Science Exchange*, 28(151), 1–6.
- Glund, S., Treebak, J. T., Long, Y. C., Barres, R., Viollet, B., Wojtaszewski, J. F., & Zierath, J. R. (2009). Role of adenosine 5'-monophosphate-activated protein kinase in interleukin-6 release from isolated mouse skeletal muscle. *Endocrinology*, 150(2), 600–606. <https://doi.org/10.1210/en.2008-1204>
- Gorostiaga, E. M., Sánchez-Medina, L., & Garcia-Tabar, I. (2022). Over 55 years of critical power: Fact or artifact? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 32(1), 116–124. <https://doi.org/10.1111/SMS.14074>
- Grima, J. S., Marcén, N. C. E., Arroyo, D. C., & Ostáriz, E. S. (2020). Glucemia y rendimiento en ciclistas amateur de resistencia participantes de “La Quebrantahuesos” (Glycemia and performance in endurance amateur cyclists participating in “The Quebrantahuesos”). *Retos*, 37(37), 17–21. <https://doi.org/10.47197/RETOS.V37I37.70482>
- Jürimäe, J., Mäestu, J., Jürimäe, T., Mangus, B., & Von Duvillard, S. (2011). Peripheral signals of energy homeostasis as possible markers of training stress in athletes: A review. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 60(3), 335–350. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2010.02.009>
- Koch, A. E., Polverini, P. J., Kunkel, S. L., Harlow, L. A., DiPietro, L. A., Elner, V. M., ... Strieter, R. M. (1992). Interleukin-8 as a Macrophage-Derived Mediator of Angiogenesis. *Science*, 258(5089), 1798–1801. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1281554>
- Krzemiński, K., Buraczewska, M., & Miśkiewicz, Z. (2016). Effect of ultra-endurance exercise on left ventricular performance and plasma cytokines in healthy trained men. *Biology of Sport*, 33(1), 63. <https://doi.org/10.5604/20831862.1189767>
- Larsen, A., Lindal, S., Aukrust, P., Toft, I., & Aarsland T. (2002). Effect of exercise training on skeletal muscle fibre characteristics in men with chronic heart failure. Correlation between skeletal muscle alterations, cytokines and exercise capacity. *International Journal of Cardiology*, 83(1), 25–32. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-5273\(02\)00014-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-5273(02)00014-1)
- Leng, S., McElhaney, J., Walston, D., Xie, D., Fedarko, N., & Kuchel, G. (2008). ELISA and multiplex technologies for cytokine measurement in inflammation and aging research. *The Journals of Gerontology*, 63(8), 879–884. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/gerona/63.8.879>
- Luk, H. Y., Levitt, D. E., Lee, E. C., Ganio, M. S., McDermott, B. P., Kupchak, B. R., ... Vingren, J. L. (2016). Pro- and anti-inflammatory cytokine responses to a 164-km road cycle ride in a hot environment. *European Journal of Applied Physiology*, 116(10), 2007–2015. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3452-5>
- MacDonald, T. L., Wan, Z., Frendo-Cumbo, S., Dyck, D. J., & Wright, D. C. (2013). IL-6 and epinephrine have divergent fiber type effects on intramuscular lipolysis. *Journal of Applied Physiology*, 115(10), 1457–1463. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00558.2013>
- Makiel, K., Suder, A., Targosz, A., Maciejczyk, M., & Haim, A. (2023). Exercise-Induced Alternations of Adiponectin, Interleukin-8 and Indicators of Carbohydrate Metabolism in Males with Metabolic Syndrome. *Biomolecules*, 13(5), 852. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/biom13050852>
- McKay, A. K. A., Stellingwerff, T., Smith, E. S., Martin, D. T., Mujika, I., Goosey-Tolfrey, V. L., ... Burke, and L. M. (2021). Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework - Buscar con Google. *International Journal of Sports*

- Physiology and Performance*, 17(2), 317–331. <https://doi.org/https://doi.org/10.1123/ijssp.2021-0451>
- Mucci, P., Durand, F., Lebel, B., Bousquet, J., Préfaut, C., & Préfaut, P. (2000). Interleukins 1-beta, -8, and histamine increases in highly trained, exercising athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(6), 1094–1100. <https://doi.org/https://doi.org/10.1097/00005768-200006000-00009>
- Nieman, D. C., Jenkins, D. P., Gross, S. J., & Carmichael, M. D. (2007). Quercetin's influence on exercise-induced changes in plasma cytokines and muscle and leukocyte cytokine mRNA. *Article in Journal of Applied Physiology*, 103(5), 1728–1735. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00707.2007>
- Niño, W., & Leguizamón, J. (2019). *Correlación entre el Umbral Funcional de Potencia y el Umbral de Lactato en los ciclistas del equipo élite "Boyacá es para vivirla."* Tesis maestría en Pedagogía de la cultura Física. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- O'Neill, H. M., Palanivel, R., Wright, D. C., Macdonald, T., Lally, J. S., Schertzer, J. D., & Steinberg, G. R. (2013). IL-6 is not essential for exercise-induced increases in glucose uptake. *Journal of Applied Physiology*, 114(9), 1151–1157. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00946.2012>
- Pedersen, B. (2011). Muscles and their myokines. *Experimental Biology*, 214(2), 337–346. <https://doi.org/https://doi.org/10.1242/jeb.048074>
- Pedersen, B. (2012). Muscular interleukin-6 and its role as an energy sensor. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(3), 392–396. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31822f94ac>
- Pedersen, B., Åkerström, T., Nielsen, A., & Fischer, C. (2007, September). Role of myokines in exercise and metabolism. *Journal of Applied Physiology*. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00080.2007>
- Petersen, A. M. W., & Pedersen, B. K. (2005, April). The anti-inflammatory effect of exercise. *Journal of Applied Physiology*. American Physiological Society. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00164.2004>
- Pratesi, A., Tarantini, F., & Di Bari, M. (2013). Skeletal muscle: an endocrine organ. *Clinical Cases in Mineral and Bone Metabolism*, 10(1), 11. <https://doi.org/10.11138/ccmbm/2013.10.1.011>
- Reihmane, D., Jurka, A., Tretjakovs, P., & Dela, F. (2013). Increase in IL-6, TNF- α , and MMP-9, but not sICAM-1, concentrations depends on exercise duration. *European Journal of Applied Physiology*, 113(4), 851–858. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2491-9>
- Sanders, D., Taylor, R. J., Myers, T., & Akubat, I. (2017). A field-based cycling test to assess predictors of endurance performance and establishing training zones. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000001910>
- Sitko, S., Cirer-Sastre, R., & López-Laval, I. (2023). An Update of the Allen & Coggan Equation to Predict 60-Min Power Output in Cyclists of Different Performance Levels. *International Journal of Sports Medicine*, 44(13), 983–987. <https://doi.org/10.1055/A-2079-1363>
- Slusher, A. L., Zúñiga, T. M., & Acevedo, E. O. (2018). Maximal Exercise Alters the Inflammatory Phenotype and Response of Mononuclear Cells. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(4), 675–683. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001480>
- Tossige-Gomes, R., Costa, K. B., Ottone, V. de O., Magalhães, F. de C., Amorim, F. T., & Rocha-Vieira, E. (2016). Lymphocyte Redox Imbalance and Reduced Proliferation after a Single Session of High Intensity Interval Exercise. *PLOS ONE*, 11(4), e0153647. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153647>
- Valenzuela, P., Alejo, L., ... A. L.-... J. of S., & 2023, U. (2023). What does it take to become a professional cyclist? A laboratory-based longitudinal analysis in competitive young riders. *Journals.Humankinetics.Com*, 18(11), 1275–1282. <https://doi.org/https://doi.org/10.1123/ijssp.2023-0083>
- Valenzuela, P., Morales, J., Foster, C., Lucia, A., & de la Villa, P. (2018). Is the functional threshold power a valid surrogate of the lactate threshold? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(10), 1293–1298. <https://doi.org/https://doi.org/10.1123/ijssp.2018-0008>
- Zwetsloot, K., John, C., Battista, R., & Shanely, R. A. (2014). High-intensity interval training induces a modest systemic inflammatory response in active, young men. *Journal of Inflammation Research*, 7, 9. <https://doi.org/https://doi.org/10.2147/JIR.S54721>

Datos de los/as autores/as:

Javier Porras Alvarez
Ivan Leonardo Duque vera

javier.porras@uptc.edu.co
duqueivan@ucaldas.edu.co

Autor/a
Autor/a