

Zafra-Santos, E.; Espinoza-Salinas, A.; Sabattini-Herrera, C.; Sanchez-Molina, J.; Bobadilla-Olivares, M.; Arenas- Sánchez, G. (2020) Oxygen Uptake Kinetics in Federated Athletes. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 20 (80) pp. 513-527
[Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista80/artcinetica1189.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista80/artcinetica1189.htm)
DOI: <https://doi.org/10.15366/rimcafd2020.80.003>

ORIGINAL

CINÉTICA DE RECUPERACIÓN DEL CONSUMO DE OXÍGENO EN DEPORTISTAS FEDERADOS

OXYGEN UPTAKE KINETICS IN FEDERATED ATHLETES

Espinoza-Salinas, A.^{1,2}; Zafra-Santos, E.³; Sabattini-Herrera, C.⁴; Sanchez-Molina, J.⁴; Bobadilla-Olivares, M.⁵ y Arenas-Sánchez, G.²

¹ MSc, Kinesiólogo, Laboratorio de Fisiología del Ejercicio, Escuela de Kinesiología, Universidad Santo Tomás, Santiago (Chile) alexisespinozasa@santotomas.cl, garenas2@santotomas.cl

² Programa de Doctorado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla (España)

³ PhD, M.D, Laboratorio de Fisiología del Ejercicio, Escuela de Kinesiología, Universidad Santo Tomás, Santiago (Chile) ezafra@santotomas.cl

⁴ MSc, Profesor Educación Física, Programa en Ciencias de la Actividad Física y Deporte, Universidad Santo Tomás, Santiago (Chile) csabattini21@gmail.com, j.sanchez.psts@gmail.com

⁵ PhD, Biólogo, Laboratorio de Fisiología del Ejercicio, Escuela de Kinesiología, Universidad Santo Tomás, Santiago (Chile) marcelobobadillaol@santotomas.cl

Código UNESCO / UNESCO Code: 2411.06 Fisiología del ejercicio / Exercise Physiology. 3299.15 Medicina del deporte/ Sports Medicine: **Clasificación del consejo de Europa / Council of Europe Classification:** 6. Fisiología del ejercicio / Exercise Physiology 11. Medicina del Deporte / Sports Medicine.

Recibido 22 de octubre de 2018 **Received** October 22, 2018

Aceptado 20 de agosto de 2019 **Accepted** August 20, 2019

RESUMEN

La cinética de la recuperación del consumo de oxígeno (VO_2) es un indicador de la capacidad funcional (CF). El objetivo de este estudio es analizar el comportamiento de la cinética de recuperación del consumo de oxígeno en deportistas de diferentes disciplinas, de acuerdo al sistema energético predominante en cada uno de ellos. Se diseñó un estudio comparativo, no experimental y transversal en 22 sujetos de deportes federados seleccionados correspondientes a Fútbol, Halterofilia y Triatlón mediante un muestreo no probabilístico intencionado. Se valoraron las siguientes variables: peso, talla, índice de masa corporal (IMC), presión arterial, perímetro de cintura y cinética del consumo de oxígeno. Los principales resultados muestran que la cinética de

recuperación del (VO_2) demostró que los deportistas que practican futsal, evidencian una mejor recuperación ($p < 0,05$) comparado con los deportistas de triatlón y halterofilia.

PALABRAS CLAVE: Consumo de oxígeno, cinética de recuperación, sistema nervioso autónomo, variabilidad del ritmo cardíaco, deporte federado.

ABSTRACT

Oxygen uptake kinetics (VO_2) is an indicator of functional capacity (CF). The objective of this study is to analyze the oxygen uptake kinetics in athletes of different disciplines, according to the predominant energy system in each one of them. A comparative, non-experimental and cross-sectional study was designed in 22 subjects of selected federated sports corresponding to futsal, weightlifting and triathlon through intentional non-probabilistic sampling. The following variables were assessed: weight, height, body mass index (BMI), blood pressure, waist circumference and oxygen uptake kinetics. The main results show that the oxygen uptake kinetics (VO_2) showed that sportsmen who practice futsal, show a better recovery ($p < 0.05$) compared to athletes of triathlon and weightlifting.

KEY WORDS: Oxygen uptake kinetics, autonomic nervous system, heart rate variability, federated sport.

INTRODUCCIÓN

Las pruebas de esfuerzo con registro electrocardiográfico son exámenes ampliamente utilizados, en el ámbito clínico por su alto valor diagnóstico en cardiopatías coronarias y para la estimación de la capacidad aeróbica de las personas (Dávila, 2007; Fleisher y Beckman, 2007). En el ámbito del deporte, las pruebas de esfuerzo con estudio de gases son una herramienta de alto valor en la adecuación, seguimiento y perfeccionamiento de planes de entrenamiento (Schouten y Poldermans, 2007). Por otro lado, estas pruebas aportan índices que permiten evaluar la recuperación a través de la determinación de la Frecuencia Cardíaca (FC), siendo este indicador uno de los más importantes para el control del rendimiento y valoración de intensidades de trabajo (Mendo, 2012). La utilización de este parámetro como regulador de intensidad tiene varias funciones tales como: el mantenimiento de un determinado ritmo de trabajo según la especialidad deportiva y para mantener una frecuencia de entrenamiento determinada para mejorar componentes de los umbrales fisiológicos (Montero y Peinado, 2002; Montero y González, 1997). En pacientes no deportistas, las pruebas habitualmente son submáximas (al menos desde el punto de vista metabólico) y a menudo no se encuentran valores de referencia para establecer comparaciones (Herrero y Machota, 1999). En población deportista sí existen estos valores, incluso asociados a diferentes disciplinas, provenientes de sujetos deportistas que se someten a pruebas de esfuerzo para conocer y mejorar su estado de forma (Calderon y Segovia, 1997). La relación entre los componentes de la recuperación y la actividad deportiva ha sido

mostrada en numerosas ocasiones (Whipp y Wasserman, 1972; Jones y Burnley, 2009; Grassi y Wagner, 1996; Borghi y Costa, 2012), sin embargo, la relación entre una mayor (más rápida) recuperación y un mejor estado de forma no sólo se da en deportistas, sino que también puede tener aplicación práctica en pacientes con riesgo cardiovascular (Bentley y Bishop, 2007; Midgley y Marchant, 2007). La recuperación de la frecuencia cardíaca después de un esfuerzo continuo presenta un patrón bifásico de presentación, con una caída inicial rápida seguida de una posterior caída lenta. Básicamente, la caída rápida inicial no es dependiente del tipo de esfuerzo, dado que en esa caída influye más la sensibilidad del barorreflejo (Mezzani y Laethem, 2009). Por el contrario, la fase de caída lenta sí depende en mayor medida del tipo de ejercicio (Fletcher y Gulati, 2013). La relación que se establece entre la caída rápida y la caída lenta de la frecuencia cardíaca en recuperación se debe al vínculo entre el sistema cardiovascular y el sistema nervioso central a través de los barorreceptores, específicamente de la sensibilidad del barorreflejo (Grassi, 2003). Este vínculo puede llegar a ser un mecanismo relevante en la regulación cardiovascular, además de servir al organismo como adaptación a condiciones medioambientales estresantes (Nabkasorn y Miyashita 2006).

Por otra parte, además del sistema nervioso central el sistema nervioso autónomo (SNA) también tiene un rol importante en la regulación de la FC, ya que a través de la rama del sistema nervioso parasimpático (SNP) específicamente del nervio vago, incidiendo en su funcionamiento, por medio de modificaciones de la FC, causando un efecto llamado como cronotropismo. Así, la inervación del SNP produce una disminución en la FC (efecto denominado cronotrópico negativo) (Chicharro y Vaquero, 2006).

Este efecto cronotrópico negativo refleja la actividad parasimpática que va retardando la FC hasta llegar a niveles basales, cesando una influencia simpática que lo acelera, con predominancia del primero. En la mayoría de las situaciones fisiológicas, las actividades simpática y parasimpática experimentan regulación recíproca, que finalmente conduce a la idea clásica del equilibrio simpaticovagal (Cardinali, 2007). Las investigaciones encontradas sobre este fenómeno de la recuperación cardíaca post-esfuerzo, relacionan la normalización de la FC con el comportamiento del consumo de oxígeno post-ejercicio (Brandenburg y Regensteiner, 1999; Franco y Evans, 2014; Koppo y Jones, 2004).

El estudio del VO_2 ofrece información relevante acerca de la utilización de vías metabólicas, en especial la vía oxidativa, implicada en la obtención de energía para realizar trabajo en casi todas las actividades cotidianas (Whipp y Ward, 2002; Neunhaeuserer y Ermolao, 2017). El mayor VO_2 alcanzable, el VO_2 requerido para realizar ejercicio submáximo, y la tasa a la cual el VO_2 se eleva durante el tránsito aeróbico-anaeróbico (de una menor a una mayor demanda energética hasta alcanzar el estado estable), son factores que afectan la tolerancia individual a la actividad física (Van Dyck y Salvo, 2015; Goto & Isonuma, 2015). En esta línea, el estudio de la cinética del VO_2 permite analizar los mecanismos fisiológicos responsables de la respuesta dinámica del VO_2 al ejercicio y su subsiguiente recuperación. De su análisis se extrae la cinética del VO_2 definiéndose como el estudio de los mecanismos fisiológicos, como el corazón y tejidos, responsables de la respuesta dinámica del VO_2 , es decir,

desde la entrada de oxígeno por medio del sistema respiratorio hasta su utilización a nivel muscular, frente al ejercicio y su posterior recuperación (Espinoza, 2016). Dentro de la cinética del VO_2 encontramos dos tipos de curvas, que corresponden a la curva en on y en off. La primera es el tramo que se da producto de un aumento de los requerimientos fisiológicos al comenzar el ejercicio, y tiene como respuesta las adaptaciones del organismo, las cuales son principalmente bioenergéticas y cardiometabólicas, estos cambios van sucediendo en distintas fases las cuales son “fase 1 o cardiodinámica, fase 2 o fase rápida y fase tres 3 o componente lento (Burnley y Jones, 2007), en cambio la cinética en off está constituida por tres fases, fase 1 o rápida, fase 2 o lenta (Bertuzzi, 2010) y además un componente ultralento que dura 24 horas (Castinheiras y Farinatti, 2009).

Visto matemáticamente encontramos que las dos curvas poseen una característica monoexponencial, biexponencial o triexponencial dada la cantidad de componentes que poseen. (Lima, 2009; Stirling y Zakyntinaki, 2009; Gurd y cols, 2009). Estas curvas se analizarán por medio del tau de la cinética. Este concepto corresponde a una constante de tiempo, la cual es definida como el tiempo necesario para que el consumo de oxígeno alcance el estado estable durante la fase en on, o por otro lado, el nivel basal una vez que se ha terminado el ejercicio o fase off, conocida también como fase de recuperación. Este se obtiene, por medio de la cuantificación del tiempo desde el tiempo de retardo hasta el tiempo final (Espinoza, 2016).

El objetivo de este estudio fue analizar el comportamiento de la cinética de recuperación del consumo de oxígeno en deportistas de diferentes disciplinas, de acuerdo al sistema energético predominante en cada uno de ellos.

MATERIAL Y MÉTODO

Diseño

Estudio de tipo exploratorio, comparativo, no experimental y longitudinal en tres grupos de deportistas federados de Chile, analizando el componente rápido y lento de la cinética de recuperación del consumo de oxígeno comparando los datos obtenidos por 3 disciplinas deportivas distintas en relación a la predominancia energética.

Participantes

El estudio constó de 22 sujetos deportistas federados de Chile, con edades entre 16 y 31 años, procedentes del Centro de Entrenamiento Olímpico agrupados en 3 disciplinas deportivas: halterofilia (n=7), futsal (n=7) y triatlón (n=8). El muestreo realizado fue de tipo no probabilístico. Los participantes con una frecuencia de entrenamiento mayor inferior a tres veces por semana, antecedentes de alguna enfermedad cardiopulmonar, que realizaban ejercicio más de 3 veces a la semana, con hábito tabáquico activo, historial de hipertensión, o enfermedades cardiopulmonares, y que presentaban uso de fármacos con efecto en la función autonómica fueron excluidos. Previamente a

la evaluación los sujetos en estudio debieron haber firmado el consentimiento informado.

Análisis metodológico

La evaluación ergoespirométrica tuvo una duración de 22 minutos y se realizó de la siguiente forma: se le solicitó al sujeto permanecer sobre el cicloergómetro en reposo absoluto, respirando calmado durante seis minutos para obtener los datos de VO_2 reposo y la percepción de esfuerzo a través de la escala de Borg. Luego se llevó a cabo un calentamiento de dos minutos, en los que el sujeto debía pedalear a 50 revoluciones por minuto (rpm) sin carga, obteniéndose datos respiración a respiración y la percepción del esfuerzo durante los últimos 15 segundos. Posteriormente se aplicó el protocolo submáximo de Astrand & Rhyning modificado en cicloergómetro durante seis minutos, tiempo en el que se debía mantener el pedaleo a 50 rpm con una carga ajustada para sujetos desentrenados (50 a 100 Watts), obteniendo la percepción de esfuerzo en los últimos 15 segundos de cada minuto y la frecuencia cardíaca (FC) a través de un cardiotacómetro (Polar RS800 CX). Por último, se ejecutó una fase de retorno a la calma durante dos minutos, retirando gradualmente la carga, pero solicitando al sujeto que mantuviera el pedaleo a 50 rpm, obteniendo la percepción del esfuerzo durante los últimos 15 segundos. Una vez realizado lo anterior, el sujeto debía descender del cicloergómetro y posicionarse en sedente en una silla con respaldo y apoyabrazos, de modo que pudiera respirar en forma tranquila durante seis minutos, obteniéndose datos respiración a respiración y la percepción del esfuerzo al término de dicho tiempo. El protocolo fue evaluado y autorizado por el Comité de Ética de la Universidad Santo Tomás.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Captura y registro de datos

Los datos de VO_2 v/s tiempo que fueron obtenidos mediante el software Metasoft donde se depuraron promediando intervalos de 10 segundos y fueron ajustados a un modelo de función bi-exponencial para la elaboración del gráfico ilustrativo de la cinética de recuperación del VO_2 y sus componentes. Resultó esencial la incorporación de un modelo de tipo bi-exponencial (two phase decay) de regresión no lineal ya que permite dividir la curva de recuperación en un componente rápido y otro lento, además de proporcionar la extracción de parámetros relevantes, como las constantes de tiempo (τ) y velocidad, la amplitud y el VO_2 reposo.

Todas las pruebas estadísticas fueron desarrolladas utilizando el programa SPSS v20 (IBM 2011), el tipo de análisis propuesto para comparar diferencias entre las disciplinas deportivas es un Análisis de covarianza (ANCOVA) para observar diferencias entre las distintas variables dependientes utilizadas en este estudio. Como pruebas a posteriori se utilizó la prueba de HSD TUKEY (Sokal & Rolf 1995). Para la correcta aplicación de los ANCOVAS, los datos fueron ajustados a un modelo lineal, de la forma $y = a + bx$. Para evaluar la relación que

existe entre el tiempo y las variables VO₂, Frecuencia Cardíaca (FC), Frecuencia Respiratoria (FR).

RESULTADOS

Durante dos meses se realizó la toma de muestra a 22 varones Deportistas Federados de Fútbol, Halterofilia, Triatlón, los cuales fueron incluidos de forma voluntaria gracias a los criterios de inclusión y exclusión, los cuales se muestran en la **tabla 1**.

Tabla 1. Valores promedio y desviaciones estándar de las características antropométricas de los individuos.

	Futsal Media (±) DS	Halterofilia Media (±) DS	Triatlón Media (±) DS
N Hombres	7	7	8
Edad (años)	20,8 ± 1,7 (18-24)	18,5±2,6 (16-23)	27,5±3,6 (21-31)
Peso (kg)	69,5 ±9,0 (57-85)	73,8±13,3 (60-99)	68,2±7,7 (55-79)
Talla (cm)	169±4,6(160-174)	168,7 ±5,9 (160- 178)	175,8±6,0 (168- 189)
IMC (kg/m²)	24,4±2,4 (21-28)	25,2±3,2 (21-31)	21,8±2,4 (19-26)
Perímetro de Cintura (cm)	79,28±4,8 (73-85)	77,25±9,1 (61-94)	77,5± 5,8 (67-84)

DS: Desviación estándar; cm: Centímetros; kg: Kilogramos; m: Metros; IMC: Índice de masa corporal.

Los resultados muestran para la cinética de recuperación del VO₂ relativo (ver figura 1) de las tres disciplinas muestra un patrón similar en el consumo de oxígeno a través del tiempo de evaluación, sin embargo los datos muestran diferencias estadísticas significativas entre las disciplinas deportivas analizadas, (F: 106.532; g.l.=2; 899, p<0,001). La pendiente del consumo de oxígeno registrado en Fútbol es mayor que Triatlón y Halterofilia (p<0,05), sin embargo no se observan diferencias estadísticas entre Triatlón y Halterofilia (p>0,05).

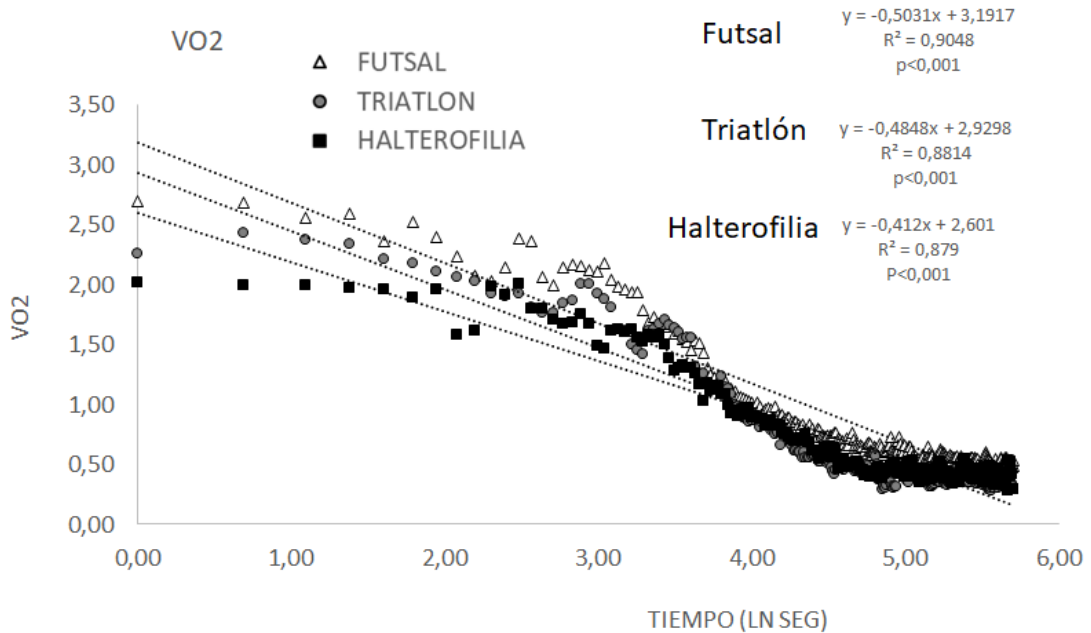


Figura 1: Gráfica comparativa de la cinética de recuperación del VO₂ relativo de las tres disciplinas deportivas fútbol, halterofilia y Triatlón.

Al analizar el patrón de cambio temporal entre la frecuencia respiratoria y el tiempo, los datos muestran diferencias estadísticas entre las disciplinas deportivas (F: 1290,582; g.l.=2; 899, $p < 0,001$; ver figura 2). Los datos para frecuencia respiratoria muestran que la tasa de cambio o pendiente calculada es distinta entre todas las disciplinas analizadas ($p < 0,05$), en este caso se observó que la pendiente fue mayor en Fútbol, intermedia en Halterofilia y menor en Triatlón.

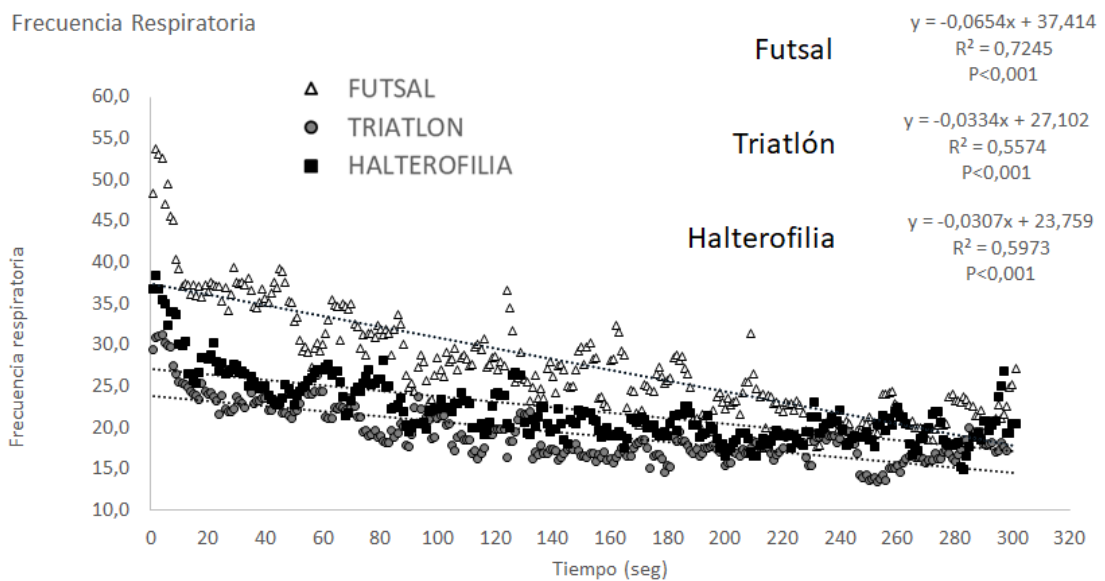


Figura 2: Comparación de la frecuencia respiratoria (FR) de las tres disciplinas deportivas fútbol, halterofilia y Triatlón.

Para el caso de la frecuencia cardiaca (FC), los datos muestran un patrón similar a la frecuencia respiratoria, se observan diferencias estadísticas entre las disciplinas deportivas (F: 1386,740; g.l.=2; 899, $p < 0,001$; ver figura 3). Los datos para frecuencia cardiaca muestran que la tasa de cambio o pendiente calculada es distintas entre todas las disciplinas analizadas ($p < 0,05$), en este caso se observó nuevamente un mayor valor en Futsal, intermedia en Halterofilia y menor en Triatlón.

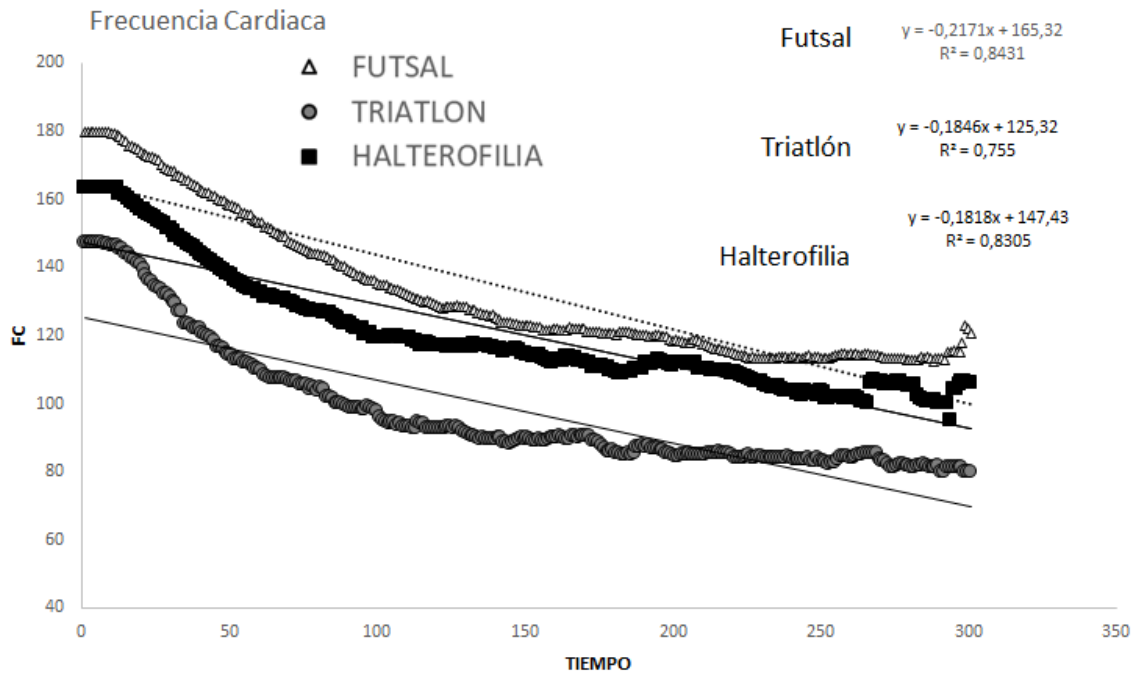


Figura 3: Comparación de la FC en las tres disciplinas deportivas futsal, halterofilia y Triatlón.

Por último, los resultados muestran al evaluar el consumo de oxígeno absoluto (ver figura 4) nuevamente que de las tres disciplinas tiene consumos de oxígeno absoluto distinto (F: 99,382; g.l.=2; 899, $p < 0,001$). La pendiente del consumo de oxígeno registrado en Futsal es mayor que Triatlón y Halterofilia ($p < 0,05$) y no se observan diferencias estadísticas entre Triatlón y Halterofilia ($p > 0,05$).

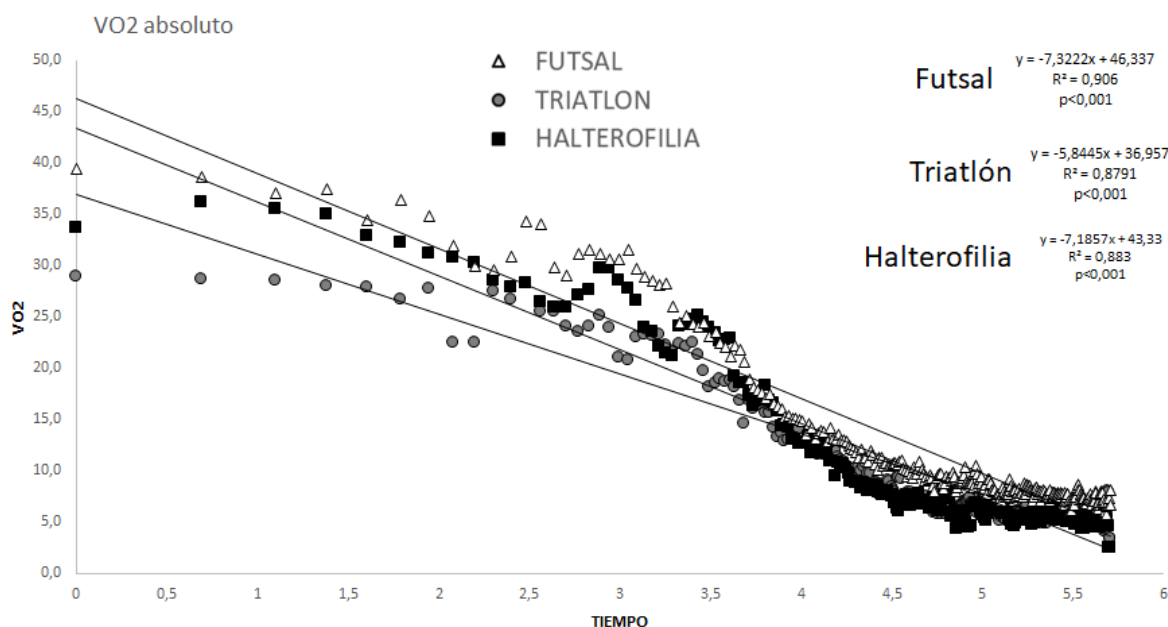


Figura 4: Resultados del protocolo inter-sujetos en la variable dependiente VO₂ Absoluto.

DISCUSIÓN

Al analizar el comportamiento de la cinética de recuperación del consumo de oxígeno en deportistas de diferentes disciplinas asociado al sistema energético predominante en cada tipo de entrenamiento. Se valoró la cinética de recuperación del VO₂ mediante ergoespirometría. El grupo de practicantes de fútbol presentó un tau más rápido que los deportistas de los grupos de halterofilia y triatlón. La FC y FR mostraron un patrón de comportamiento similar al del VO₂, siendo el grupo de practicantes de fútbol el que presentó una mayor pendiente de recuperación en estas variables. No obstante, y a diferencia de lo encontrado en la cinética de recuperación del VO₂, el grupo de halterofilistas tuvo una mayor pendiente de recuperación que el grupo de triatletas en ambos parámetros.

La literatura señala que el comportamiento del VO₂ en el ejercicio y recuperación está mediado por diversos factores y mecanismos, tanto centrales como periféricos (Espinoza y Zafra, 2018; Skinner y Mclellan, 1980). Los centrales son mediados desde las áreas motoras de la corteza cerebral, produciendo una rápida respuesta “anticipatoria”, manifestada con un aumento de la FC, producto de una retirada vagal y posterior activación simpática, además de un aumento de la frecuencia de respiración. Básicamente se produce una co-activación paralela y simultánea de los centros de control motor y cardiovascular durante el ejercicio y en la fase de recuperación (Chicharro y Vaquero, 2006)

En este sentido, se podrían establecer relaciones con las características propias del entrenamiento de cada deporte y las adaptaciones asociadas a sus respuestas cardiovagales, lo que se traduce en una mayor efectividad en la respuesta de la activación vagal y una retirada simpática más acentuada. Dichos hallazgos son respaldados por Duarte y cols, quienes evaluaron a 177 sujetos, estableciendo que un protocolo de ejercicio físico de 16 semanas aumentó la respuesta vagal durante la transición de reposo-ejercicio (Duarte y Araujo,

2013), en esta línea nuestro grupo ha reportado que tras un protocolo de ejercicio interválico de alta intensidad mejora el componente rápido de la cinética de recuperación del VO_2 , incrementando el tiempo de recuperación posterior al esfuerzo físico (Espinoza y Zafra, 2018). En ambos protocolos se aplicó un entrenamiento interválico de alta intensidad, fase III del modelo trifásico de Skinner, por sobre el umbral anaeróbico y ventilatorio II (80-85% VO_2 máx) (Skinner y Mclellan, 1980). Lo anterior podría explicar los diferentes comportamientos observados en la frecuencia cardiaca de recuperación y permitiría relacionar esta variable con los tipos de entrenamiento. En este contexto, el fútbol es un deporte que más presenta importantes transiciones aeróbicas-anaeróbicas y características acíclicas (Burnley y Jones, 2007). No obstante, dichos estudios evaluaron sujetos con sobrepeso y sedentarios (no deportistas como es el caso de este estudio) y dada la especificidad del protocolo de evaluación utilizado, este podría no ser totalmente homologable a las características de los entrenamientos de fútbol, por lo que se debe tener en cuenta la escasa posibilidad de comparación con este estudio.

En cuanto a las adaptaciones fisiológicas centrales y periféricas que propiciarán un sistema de entrenamiento interválico de alta intensidad (Fernández y Túnez, 2009), el déficit transitorio de oxígeno a nivel periférico asociado a esta modalidad de entrenamiento propiciará la mayor cantidad de adaptaciones celulares, dentro de las que destaca el aumento del factor inducido por hipoxia (HIF-1), expresado en las células tubulares del riñón, el cual desencadenará una mayor producción de eritropoyetina, que a su vez aumentará la producción de glóbulos rojos y finalmente mejorando la captación y el transporte de oxígeno. Por otro lado, el transporte de oxígeno a nivel muscular también se verá beneficiado por la mayor producción de mioglobina. A su vez, estas adaptaciones también atañen al metabolismo de los carbohidratos, dado que se estimula la actividad de la PFK (fosfofructoquinasa), la cual fosforila la Fructosa-6-fosfato en Fructosa 1,6 Bifosfato, aumentando la velocidad de producción de energía a través de la glicólisis y también una mayor producción y activación de los transportadores Glut-4 (Proteína Transportadora de glucosa, regulada por la insulina), la cual aumentará el ingreso de la glucosa a la célula muscular para poder producir energía de manera más eficiente a través de la glucólisis (Pilegaard y Bangsbo, 1999). Dichas adaptaciones también implican modificaciones que pueden afectar a la respuesta rápida de la cinética de recuperación del oxígeno, como el componente periférico que, de acuerdo con lo descrito por Wu y cols (1999), después de una sesión de HIIT aumentaría el ARNm de PGC-1^a y la TFAM, consideradas esenciales para la biogénesis mitocondrial estimulando la transcripción mitocondrial que favorece la resíntesis de fosfágenos de alta energía relacionados con el componente rápido de la cinética de recuperación del consumo de oxígeno y de esta manera favoreciendo la recuperación post ejercicio.

Por otro lado, y en cuanto a los mecanismos periféricos encontramos los relacionados con la entrega y utilización del O_2 en el músculo. A pesar de existir poca evidencia dirigida hacia la cinética de recuperación en el deporte competitivo y de ser definido este estudio como exploratorio, se hallaron resultados estadísticamente significativos en el tau de la cinética en off del VO_2 esclareciendo de este modo que el comportamiento de esta variable se ve

influenciado, entre otros factores, por la predominancia energética de cada deporte. No se encontró evidencia en la literatura acerca de la cinética de recuperación del VO_2 de diferentes disciplinas deportivas en cuanto a las características energéticas predominantes del deporte, pero sí existen algunos trabajos en población obesa y sedentaria (Aubert y Beckers, 2003) que podrían ayudar a reforzar esta idea. Estos señalan que tras la implementación del protocolo de ejercicios 5x55x5 (de carácter interválico de alta intensidad o HIIT) durante diez días, en obesos disminuyó el tau rápido, (o fase rápida), con lo que se infiere que el tipo de adaptación propiciada por el ejercicio o un tipo específico de entrenamiento, como sería el caso de las distintas disciplinas deportivas, determinaría un tau de la cinética del VO_2 más o menos pronunciado. Diversas son las adaptaciones propiciadas por este sistema de entrenamiento, tanto centrales como periféricas, dentro de las que más destacan una activación simpático-adrenal y mejoras cardiovagales, lo que significa una mayor efectividad en la activación vagal y una retirada más acentuada de la actividad simpática en cuanto al consumo de oxígeno, donde se evidenció que el grupo Futsal presentó un tau de la cinética de recuperación del VO_2 más pronunciado, debido a que la fase rápida de este depende del sistema nervioso autónomo, principalmente de la activación vagal. Existe consenso acerca de que una pobre recuperación de la Frecuencia Cardíaca tras un esfuerzo físico se relaciona con una alta probabilidad de muerte por distinto origen (< 12 latidos*minuto en el primer minuto de recuperación) (Berne, 1980). En contraposición, los datos del presente estudio evidenciaron que los deportistas de Futsal, Halterofilia y Triatlón, presentaron un indicador fisiológico mayor a doce latidos por minuto en el primer minuto de recuperación, lo que se asocia a una retirada simpática anticipatoria. La alta actividad simpática es un predictor potente de baja supervivencia, mientras que el alto tono vagal proporciona cardioprotección. En general, el efecto del SNA sobre la actividad cardíaca se puede resumir de la siguiente manera: la estimulación simpática acelera la despolarización del nodo SA, produciendo taquicardia y disminuyendo la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VRC) y la estimulación parasimpática que disminuye el ritmo de descarga del nodo SA, produciendo bradicardia y aumentando la VRC (Aubert y Beckers, 2003). De acuerdo con lo anterior, las características propias de cada tipo de entrenamiento, se inducirían una respuesta anticipatoria del tono vagal, provocando una reacción prematura de la cinética rápida de recuperación. Un aspecto importante a considerar es el impacto que el test aplicado en este estudio significó para cada deporte. Se podría relacionar que la cinética de recuperación del VO_2 también podría estar influenciada por la intensidad del ejercicio, dado que los cambios súbitos de la FC en las transiciones reposo-ejercicio-reposo de la fase rápida de la cinética del VO_2 , las cuales en ejercicios de moderada intensidad responden principalmente a una retirada vagal, y en ejercicios de alta intensidad, a una sumación de la retirada vagal y estimulación simpática. La cinética de recuperación de la FC podría presentar mayor actividad de estas dos ramas del SNA cuando la intensidad del ejercicio es mayor, mostrando una recuperación más rápida. En el caso de este estudio, los resultados encontrados probablemente estén también influenciados por la intensidad que significó para cada grupo el estímulo del test, donde se observó que para el grupo futsal significó un esfuerzo más arduo que para los demás grupos de acuerdo a los resultados obtenidos.

Por último, cabe resaltar que los practicantes de en cuanto a variables subjetivas, como la percepción de esfuerzo durante y al finalizar el protocolo, los halterofilistas, a su vez, demostraron que el test les significó un menor esfuerzo que a los practicantes de fútbol. Asimismo el grupo de deportistas que el test aplicado significó un menor estrés fisiológico observado durante el protocolo fueron los Triatletas, los cuales además poseen dentro de sus pruebas el ciclismo, por lo que podría haber una mayor eficiencia biomecánica y familiarización con esta tarea.

LIMITACIONES

Dentro de las limitaciones del presente estudio se encuentran la hora del día para la aplicación del test de Astrand, dado que las evaluaciones se llevaron a cabo en diferentes horarios independiente de los grupos de deportistas; entre las 10 am y las 3 pm. Otro aspecto que pudo haber influenciado los resultados obtenidos fueron los posibles tiempos de recuperación que tuvo cada grupo y cada deportista en la última sesión de entrenamiento realizada antes de la aplicación del test.

CONCLUSIÓN

A la luz de los resultados encontrados se puede concluir que el tau de la cinética de recuperación del VO_2 es mayor para deportes con una mayor interfase aeróbica-anaeróbica, que para deportes predominantemente aeróbicos o anaeróbicos. De acuerdo a lo descrito, las adaptaciones neurales y metabólicas a nivel central y periférico favorecen las características específicas de los sistemas de entrenamiento acíclico influyendo positivamente en la velocidad de recuperación tras un ejercicio. Sin embargo, se necesitan más estudios que realicen comparaciones entre deportes acíclicos ó mediante otros protocolos que puedan, por un lado homologar aún más las características del deporte, y por otro estandarizar aún más la intensidad percibida por los deportistas.

CONSIDERACIONES ÉTICAS

Todos los participantes firmaron el consentimiento informado previamente aprobado, junto con los demás procedimientos del estudio, por el Comité de Ética de la Universidad Santo Tomás en Santiago de Chile. Los investigadores del presente estudio respetaron lo estipulado en la Declaración de Helsinki acerca de trabajos de investigación en humanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bentley, D. J., Newell, J., & Bishop, D. (2007). Incremental exercise test design and analysis. *Sports medicine*, 37(7), 575-586.
- Bertuzzi, R. C., Franchini, E., Ugrinowitsch, C., Kokubun, E., Lima-Silva, A. E., Pires, F. D. O., ... & Kiss, M. A. (2010). Predicting MAOD using only a supramaximal exhaustive test. *Int J Sports Med*, 31(7), 477-481.
- Borghi-Silva, A., Beltrame, T., Reis, M. S., Sampaio, L. M. M., Catai, A. M., Arena, R., & Costa, D. (2012). Relationship between oxygen consumption kinetics

- and BODE Index in COPD patients. *International journal of chronic obstructive pulmonary disease*, 7, 711.
- Brandenburg, S. L., Reusch, J. E., Bauer, T. A., Jeffers, B. W., Hiatt, W. R., & Regensteiner, J. G. (1999). Effects of exercise training on oxygen uptake kinetic responses in women with type 2 diabetes. *Diabetes care*, 22(10), 1640-1646.
- Calderón Montero, F. J., Brita Paja, J. L., González, C., & Machota, V. (1997). Estudio de la recuperación de la frecuencia cardíaca en deportistas de élite. Selección: *Revista española de medicina de la educación física y el deporte*, 6(3), 101-105.
- Calderon, F. J., Gonzalez, C., Segovia, J. C., & Lopez-Silvarrey, J. (1997). Parámetros del modelo respiratorio durante una prueba de esfuerzo incremental. *Archivos de medicina del deporte*, 97-103.
- Cardinali, D. P. (2007). *Neurociencia aplicada: sus fundamentos*. Ed. Médica Panamericana.
- Chicharro, J. L., & Vaquero, A. F. (2006). *Fisiología del ejercicio*. Ed. Médica Panamericana.
- Dávila-Román, V. G. (2007). Evaluating cardiac risk in noncardiac surgery. *Revista española de cardiología*, 60(10), 1005-1009.
- Duarte, C., de Castro, C., & de Araujo, C. (2013). Treinamento para disfunção vagal cardíaca com repetições da transição repouso-exercício. *Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde*, 18(6), 688-688.
- Espinoza-Salinas, A., Acuña-Vera, S., Sanchez-Aguilera, P., & Zafra-Santos, E. (2016). Revisión bibliográfica: Efectos del entrenamiento interválico de alta intensidad en el balance autonómico y la cinética del consumo de oxígeno en sujetos obesos. *Revista Horizonte Ciencias de la Actividad Física*, 7(2), 30-45.
- Espinoza-Salinas, A., Arenas-Sánchez, G., Silva-Huenopil, B., Osorio-Marambio, S., Firinguetti-Balocchi, C., & Zafra-Santos, E. (2018). Análisis del componente rápido de la cinética de recuperación del consumo de oxígeno tras un programa HIIT de 10 días en un grupo de obesos. *Revista Salud UIS*, 50(1), 7-17.
- Fernández, J. M., Da Silva-Grigoletto, M. E., & Túnez-Fiñana, I. (2009). Estrés oxidativo inducido por el ejercicio. *Revista andaluza de medicina del deporte*, 2(1).
- Fleisher LA, Beckman JA, Brown KA, Calkins H, Chaikof E, Fleischmann KE, et al. ACC/AHA 2007 guide lines on perioperative cardiovascular evaluation. *Journal of the American College of Cardiology*, 50(17), e159-e242.
- Fletcher, G. F., Ades, P. A., Kligfield, P., Arena, R., Balady, G. J., Bittner, V. A., & Gulati, M. (2013). Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 128(8), 873-934.
- Franco, R. L., Bowen, M. K., Arena, R., Privett, S. H., Acevedo, E. O., Wickham, E. P., & Evans, R. K. (2014). Sex differences in pulmonary oxygen uptake kinetics in obese adolescents. *The Journal of pediatrics*, 165(6), 1161-1165.
- Goto, Y., Yokokawa, H., Fukuda, H., Naito, T., Hisaoka, T., & Isonuma, H. (2015). Body mass index and waist circumference are independent risk factors for low vital capacity among Japanese participants of a health checkup: a

- single-institution cross-sectional study. *Environmental health and preventive medicine*, 20(2), 108.
- Grassi, B. (2003). Oxygen uptake kinetics: old and recent lessons from experiments on isolated muscle in situ. *European journal of applied physiology*, 90(3-4), 242-249.
- Grassi, B., Poole, D. C., Richardson, R. S., Knight, D. R., Erickson, B. K., & Wagner, P. D. (1996). Muscle O₂ uptake kinetics in humans: implications for metabolic control. *Journal of Applied Physiology*, 80(3), 988-998.
- Gurd, B. J., Peters, S. J., Heigenhauser, G. J., LeBlanc, P. J., Doherty, T. J., Paterson, D. H., & Kowalchuk, J. M. (2008). O₂ uptake kinetics, pyruvate dehydrogenase activity, and muscle deoxygenation in young and older adults during the transition to moderate-intensity exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 294(2), R577-R584.
- Herrero, C. G., Montero, F. J. C., & Machota, V. (1999). Estudio de la recuperación en tres formas de esfuerzo intermitente: aeróbico, umbral y anaeróbico. *Apuntes: Educación física y deportes*, (55), 14-19.
- Jones, A. M., & Burnley, M. (2009). Oxygen uptake kinetics: an underappreciated determinant of exercise performance. *International journal of sports physiology and performance*, 4(4), 524-532.
- Koppo, K., Bouckaert, J., & Jones, A. M. (2004). Effects of training status and exercise intensity on phase II VO₂ kinetics. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(2), 225-232.
- Lima, R., & Sampaio, R. (2009). Identificação de Parâmetros pelo Método dos Mínimos Quadrados Não Linear. Relatório final da Iniciação Científica. Rio de Janeiro, agosto de.
- Mendo, A. H., Jiménez, M. Á. M., Luis, J., Brincones, P., & Sánchez, V. M. (2012). Programa informático para evaluación y entrenamiento de la atención. *Revista Iberoamericana de Psicología del Ejercicio*, 7(2), 339-358.
- Mezzani, A., Agostoni, P., Cohen-Solal, A., Corra, U., Jegier, A., Kouidi, E. & Laethem, C. V. (2009). Standards for the use of cardiopulmonary exercise testing for the functional evaluation of cardiac patients: a report from the Exercise Physiology Section of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, 16(3), 249-267.
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R., Polman, R., & Marchant, D. (2007). Criteria for determination of maximal oxygen uptake. *Sports Medicine*, 37(12), 1019-1028.
- Montero, F. C., Peinado, P. B., & Zapico, A. G. (2002). Aplicación práctica de las pruebas de esfuerzo. *Selección*, 11(4), 202-209.
- Nabkasorn, C., Miyai, N., Sootmongkol, A., Junprasert, S., Yamamoto, H., Arita, M., & Miyashita, K. (2006). Effects of physical exercise on depression, neuroendocrine stress hormones and physiological fitness in adolescent females with depressive symptoms. *European journal of public health*, 16(2), 179-184.
- Neunhaeuserer, D., Gasperetti, A., Savalla, F., Gobbo, S., Bullo, V., Bergamin, M. & Ermolao, A. (2017). Functional Evaluation in Obese Patients Before and After Sleeve Gastrectomy. *Obesity surgery*, 27(12), 3230-3239.

- Ortiz-Pulido, R., Ortiz-Pulido, R., & Ortiz-Pulido, R. (2018). Consumo máximo de oxígeno en mexicanos universitarios: Correlación entre cinco test predictivos. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*.
- Pilegaard, H., Domino, K., Noland, T., Juel, C., Hellsten, Y., Halestrap, A. P., & Bangsbo, J. (1999). Effect of high-intensity exercise training on lactate/H⁺ transport capacity in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*, 276(2), E255-E261.
- Schouten, O., Bax, J. J., & Poldermans, D. (2007). Coronary risk assessment in the management of patients undergoing noncardiac vascular surgery. *Revista española de cardiología*, 60(10), 1083-1091.
- Skinner, J. S., & McLellan, T. H. (1980). The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research quarterly for exercise and sport*, 51(1), 234-248.
- Stirling, J. R., & Zakythinaki, M. (2009). Counterpoint: The kinetics of oxygen uptake during muscular exercise do not manifest time-delayed phases. *Journal of Applied Physiology*, 107(5), 1665-1667.
- Van Dyck, D., Cerin, E., De Bourdeaudhuij, I., Hinckson, E., Reis, R. S., Davey, R., & Salvo, D. (2015). International study of objectively measured physical activity and sedentary time with body mass index and obesity: IPEN adult study. *International Journal of Obesity*, 39(2), 199.
- Whipp, B. J., & Wasserman, K. A. R. L. M. A. N. (1972). Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *Journal of Applied Physiology*, 33(3), 351-356.
- Whipp, B. J., Rossiter, H. B., & Ward, S. A. (2002). Exertional oxygen uptake kinetics: a stamen of stamina?. *BiochemSocTrans*; 30 (2): 237-47.

Número de citas totales / Total references: 58.

Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 1.