

La respuesta cardiorrespiratoria durante la segunda transición del triatlón: revisión

Cardiorespiratory response during second transition in triathlon: review

Víctor Díaz Molina

Ana Belén Peinado Lozano

María Álvarez Sánchez

Universidad Politécnica de Madrid

Augusto G. Zapico

Universidad Complutense de Madrid

Pedro José Benito Peinado

Francisco Javier Calderón Montero

Universidad Politécnica de Madrid

Resumen

El triatlón es un deporte de resistencia que combina sucesivamente natación, ciclismo y carrera a pie. Como en otros deportes de estas características, la capacidad aeróbica máxima y la posibilidad de mantener una fracción alta del consumo de oxígeno máximo durante la competición son determinantes para el éxito. Ahora bien, el triatlón posee algunas peculiaridades, y la segunda transición es un momento clave, pues la capacidad para enlazar las etapas de ciclismo y carrera es determinante para el rendimiento, ya que la respuesta cardiorrespiratoria durante la carrera a pie de un triatlón se ve aumentada por diversos factores. Así, el objetivo del presente trabajo fue revisar las explicaciones que se han planteado para justificar la respuesta cardiorrespiratoria específica de la segunda transición del triatlón, comenzando por el "drift" cardiovascular y respiratorio, y terminando por los estudios que han abordado el entrenamiento específico de la segunda transición.

Palabras Claves: triatlón; sucesión ciclismo-carrera; drift cardiovascular; coste metabólico; resistencia; fatiga respiratoria.

Abstract

Triathlon is an endurance sport consisting of sequential swimming, cycling and running. As in other sports with similar characteristics, maximal aerobic capacity and the possibility to sustain high percentages of maximal oxygen uptake during competition are decisive to be successful. However, triathlon has some peculiarities, and the second transition is a key moment, because the ability to link cycling and running sectors is decisive for performance, as cardiorespiratory response during running is increased by different factors. Thus, the aim of the present work was to review the explanations that have been considered to justify the specific cardiorespiratory response during cycling-running succession in triathlon, from cardiovascular and ventilatory drift, to the studies that treat on specific training adaptations during the second transition.

Key Words: triathlon, cycle-run succession; cardiovascular drift; oxygen cost; endurance; respiratory fatigue.

Correspondencia/correspondence: Víctor Díaz Molina
Laboratorio de Fisiología del Esfuerzo
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte - INEF. Universidad Politécnica de Madrid.
C/ Martín Fierro nº7, 28040 (Madrid)
E-mail: victordiazmolina@gmail.com

Introducción

El triatlón olímpico es un deporte de resistencia que consiste en realizar tres especialidades deportivas de forma consecutiva: 1,5 km nadando, 40 km en bici y 10 km corriendo. La duración total de una prueba profesional sobre la distancia olímpica puede estar en torno a 120 minutos. Por tanto, podemos considerar al triatlón como un deporte de resistencia en el cual, la capacidad de los sujetos para producir la máxima cantidad de energía por unidad de tiempo durante toda la prueba es uno de los principales indicadores del rendimiento (O'Toole y Douglas, 1995). Además, este tipo de pruebas combinadas requieren de un gran rendimiento técnico en cada uno de los deportes y de una rápida adaptación fisiológica a cada nueva especialidad durante los periodos conocidos como transición: entre natación-ciclismo (T1) y ciclismo-carrera (T2). Estas transiciones dotan al triatlón de unas características muy especiales que determinan el rendimiento más allá de la simple suma de los factores determinantes de los deportes que lo componen (Zderic, Ruby, Hartpence y Meyers, 1997). La T1 puede definirse como el paso del segmento de natación al de ciclismo, desde que el triatleta sale del agua hasta que se sube a la bicicleta para comenzar el sector de ciclismo. La T2 se define como el paso del tramo de ciclismo al tramo de carrera desde que el triatleta baja de la bicicleta hasta que comienza a correr saliendo del área de transición.

Mientras que la T1 es importante por razones tácticas (Millet y Vleck, 2000), pues los triatletas ven reducidas sus posibilidades si no abandonan el agua en los primeros grupos, la T2 tiene enormes implicaciones fisiológicas, fundamentalmente gracias a la contribución del cambio de reglamento, que permite realizar el tramo de ciclismo en grupo, reduciendo así la importancia del ciclismo y aumentando la de la carrera a pie (Rowlands y Downey, 2000), cuya marca es la que muestra la mayor varianza de las tres disciplinas del triatlón (Landers, Blanksby, Ackland y Smith, 2000).

Puesto que los triatletas han expresado una sensación de descoordinación durante la T2 (Quigley y Richards, 1996), los investigadores han centrado su atención sobre la influencia del ciclismo en la respuesta cardiorrespiratoria y las adaptaciones biomecánicas durante la consecutiva carrera a pie. Numerosos estudios han tratado de explicar los fenómenos observados proponiendo diversas hipótesis. A lo largo de este trabajo nos ocuparemos de revisar los estudios relacionados con la respuesta cardiorrespiratoria y las explicaciones elaboradas en este sentido. Por último, revisaremos la literatura referente al entrenamiento específico de la T2.

Respuesta cardiorrespiratoria

Drift cardiovascular y respiratorio

Durante un ejercicio prolongado, los sistemas circulatorio y respiratorio deben garantizar las necesidades metabólicas del músculo, así como intervenir en el control de la temperatura. En este contexto, la presión venosa central puede disminuir, reduciéndose el volumen sistólico. Por tanto, si el gasto cardiaco debe mantenerse, necesariamente aumentará la frecuencia cardiaca (FC). Estos cambios, a saber, descenso del volumen sistólico, de la presión de llenado ventricular, de la presión arterial media y

aumento concomitante de la FC, que ocurren durante el ejercicio prolongado, se conocen en su conjunto con el nombre de *drift* cardiovascular (Raven y Stevens, 1988; Rowell 1974). De la misma forma, durante el ejercicio de larga duración se habla de *drift* ventilatorio cuando se producen aumentos de la ventilación (VE) y de la frecuencia respiratoria (FR) a pesar del trabajo a carga constante (Dempsey, Aaron y Martin, 1988).

La respuesta respiratoria y cardíaca a la segunda transición ha sido estudiada en diferentes ocasiones y por diferentes grupos de investigación desde que el primer estudio de Kreider et al. (1988), sugiriera que en el segmento de carrera se daban alteraciones de la respuesta cardiorrespiratoria (comparándola con una carrera aislada de control) y de la termorregulación que podrían ser importantes para el rendimiento. Así, varios estudios han sugerido la aparición del *drift* cardiovascular y ventilatorio durante simulaciones de la T2, presentando aumentos significativos del consumo de oxígeno (VO_2), VE, FC, FR y las relaciones VE/VO_2 y VE/VCO_2 cuando se comparaban con una carrera aislada sin una fase de ciclismo previa (Hue, Galy, Le Gallais y Prefaut, 2001; Hue, Le Gallais, Chollet, Boussana y Prefaut, 1998; Hue, Le Gallais y Prefaut, 2001; Miura, Kitagawa y Ishiko, 1999). Se ha sugerido que esta respuesta es específica del ciclismo, pues Boussana et al. (2001), en un trabajo en el que simularon una T2 y una transición inversa (carrera-ciclismo), mostraron que los cambios en el rendimiento de los músculos respiratorios eran mayores al final de la transición carrera-ciclismo, lo que por otra parte indicaba una compensación de los efectos negativos del ciclismo durante la carrera de T2. Además, otro trabajo concluye que la T2 desencadena una respuesta específica que no se observa durante una transición carrera-carrera de la misma intensidad y duración (Hue, Le Gallais, Boussana, Chollet y Prefaut, 1999).

Las concentraciones de lactato presentadas durante simulaciones de la T2 oscilan entre los 3 y los 4 $mmol \cdot L^{-1}$ (Hue, 2003; Hue, Galy et al., 2001; Hue, Le Gallais, Boussana, Chollet y Prefaut, 2000), de forma que la acidosis observada no puede explicar las alteraciones en los parámetros ventilatorios. Así, con el objetivo de explicar el *drift*, se han propuesto otras hipótesis tales como el vaciamiento de los depósitos de glucógeno tras el sector de ciclismo (Guezennec, Vallier, Bigard y Durey, 1996; Hausswirth, Bigard, Berthelot, Thomaidis y Guezennec, 1996; Hue et al., 1998), fatiga de los músculos respiratorios (Hue et al., 1998), deshidratación parcial con aumento de temperatura central (Guezennec et al., 1996; Hausswirth et al., 1996; Hausswirth, Bigard y Guezennec, 1997; Kreider et al., 1988) y descenso de la distensibilidad pulmonar por hipoxemia inducida por el ejercicio (Caillaud, Serre-Cousine, Anselme, Capdevilla y Prefaut, 1995).

Aunque lo más lógico sea pensar que el *drift* cardiovascular y ventilatorio está provocado por la concomitancia de varios factores relacionados con la fatiga acumulada (Zderic et al., 1997), se ha sugerido que el conflicto entre flujo muscular y cutáneo debido al aumento de temperatura central durante el ejercicio (González-Alonso, Calbet, y Nielsen 1998, 1999; Kellogg Jr. y Pérgola, 2000) sea el factor más determinante. Sin embargo, otros trabajos experimentales han mostrado que el flujo sanguíneo del músculo no desciende aunque aumente el flujo cutáneo (Fortney, Wenger, Bove y Nadel, 1983), y que el *drift* cardiovascular se relaciona en mayor medida con la pérdida de volumen plasmático y aumento de la osmolaridad de la sangre (Freund et al., 1987; Grant, Green, Phillips y Sutton, 1997; Hamilton, González, Montain y Coyle, 1991; Montain y Coyle, 1992a, 1992b).

Alteraciones de la difusión

Aunque la utilidad de la capacidad de difusión para el monóxido de carbono (DL_{CO}) en ejercicio se ha discutido en los últimos años (Hanel, Clifford y Secher, 1994; Hanel, Gustafsson, Larsen y Secher, 1993; Hsia, 2002; Mador y Tobin, 1992; St Croix et al., 1998), un conjunto importante de trabajos ha centrado sus investigaciones sobre las alteraciones de la DL_{CO} durante la T2 (tabla 1).

Estas alteraciones en la difusión podrían estar relacionadas con variaciones en la relación ventilación/perfusión, dadas por una hipoventilación del sujeto, por alteraciones en el flujo pulmonar, o bien porque aparezcan ambas a la vez (Calderón, 2007). Aunque es muy complejo determinar la causa principal, parece claro que es una alteración específica del ciclismo, de forma que algunos trabajos sugieren una redistribución del flujo pulmonar por el cambio de posición del ciclismo a la carrera, que afectaría a la relación ventilación/perfusión por cambios en el denominador (Hue, Le Gallais, Boussana y Prefaut, 2001), acumulación de líquido en el pulmón que aumentaría el grosor de la barrera hematogaseosa (Caillaud et al., 1995), rotura de capilares por estrés (West, 2000; West, Tsukimoto, Mathieu-Costello y Prediletto, 1991), aumento de la viscosidad del plasma, aumento de la deformabilidad de las células rojas, disminución del volumen de plasma y disminución del factor atrial natriurético (Galy et al., 2003).

Fatiga respiratoria

La fatiga de los músculos respiratorios durante el ejercicio ha sido evidenciada cuando éste se realiza a intensidades altas cercanas al 85% del VO_2 máximo (Johnson, Babcock, Suman y Dempsey, 1993). Durante un triatlón, además de por la elevada intensidad, la fatiga de los músculos respiratorios puede venir dada por la posición típica del ciclismo, que genera una pérdida de eficiencia mecánica del diafragma, principal músculo respiratorio (Hill, Jacoby y Farber, 1991).

En este contexto, varios estudios han tratado de evaluar la fatiga respiratoria durante la T2 (tabla 2) a través del estudio de las capacidades y volúmenes pulmonares (Boussana et al., 2003; Boussana et al., 2001; Hue, Galy et al., 2001; Hue et al., 1999; Hue, Le Gallais y Prefaut, 2001), así como del tiempo y resistencia a la fatiga de los músculos respiratorios cuando estos actúan contra una resistencia (Boussana et al., 2003; Boussana et al., 2001).

Los resultados de estos estudios no permiten establecer una conclusión clara. Mientras que varios de ellos observan aumentos post-T2 de la capacidad residual funcional y del volumen residual (Boussana et al., 2003; Hue, Galy et al., 2001; Hue et al., 1999), otros muestran descenso de capacidad vital forzada junto con descenso de la resistencia y fuerza de los músculos respiratorios (Boussana et al., 2003; Boussana et al., 2001) y otros (tabla 2) no muestran diferencias significativas en estas variables (Boussana et al., 2001; Hue, Le Gallais y Prefaut, 2001).

Tabla 1. Media \pm desviación estándar de los valores para la DL_{CO} (mL·mmHg⁻¹·min⁻¹) en los distintos diseños experimentales. * Indica diferencias significativas (p<0,05) con los valores anteriores a la prueba correspondiente. Caillaud et al. realizan un análisis pre – post competición real.

	Ciclismo-carrera	Carrera-carrera	Carrera-ciclismo	Ciclismo	Carrera
(Galy et al., 2003)					
Pre	38,0 \pm 1,3	-	39,8 \pm 1,5	-	-
Post	33,8 \pm 1,0 *	-	32,6 \pm 0,9 *	-	-
(Caillaud et al., 1995)					
Pre	44,9 \pm 2,3	-	-	-	-
Post	42,9 \pm 1,7 *	-	-	-	-
(Hue, Le Gallais, Boussana et al., 2001)					
Pre	43,5 \pm 2,4	42,2 \pm 2,2	-	43,0 \pm 2,4	42,9 \pm 2,1
Post	40,4 \pm 2,2 *	41,4 \pm 2,3	-	40,2 \pm 2,2 *	43,0 \pm 2,2
(Hue et al., 1999)					
Pre	43,0 \pm 7,0	-	-	-	-
Post	39,7 \pm 5,6 *	-	-	-	-
(Hue, Le Gallais y Prefaut, 2001)					
Pre	44,7 \pm 2,6	-	-	-	44,1 \pm 2,2
Post	41,8 \pm 2,3 *	-	-	-	44,2 \pm 2,8

Tabla 2. Media \pm desviación estándar de las variables espirométricas medidas por varios estudios antes y después de relizar una transición ciclismo-carrera. * Indica diferencias significativas ($p < 0,05$) con los valores previos a la transición. Caillaud et al. realizan un análisis pre y post competición real. (CPT) capacidad pulmonar total, (CV) capacidad vital, (VR) volumen residual, (CRF) capacidad residual funcional, (CVF) capacidad vital forzada.

	CPT (L)	CV (L)	VR (L)	CRF (L)	VR/CPT (%)	CVF (L)
(Hue, Le Gallais, Boussana et al., 2001)						
Pre	8,4 \pm 0,2	6,3 \pm 0,2	-	-	-	-
Post	8,2 \pm 0,3	6,5 \pm 0,3	-	-	-	-
(Caillaud et al., 1995)						
Pre	8,1 \pm 0,2	6,3 \pm 0,2	-	-	-	-
Post	7,9 \pm 0,2	6,1 \pm 0,3	-	-	-	-
(Hue et al., 1999)						
Pre	-	-	1,5 \pm 0,2	3,7 \pm 0,41	20,2 \pm 3,22	-
Post	-	-	1,6 \pm 0,2 *	3,9 \pm 0,52 *	21,5 \pm 3,0 *	-
(Hue, Le Gallais y Prefaut, 2001)						
Pre	8,4 \pm 0,2	6,5 \pm 0,2	1,9 \pm 0,1	3,9 \pm 0,3	-	-
Post	8,5 \pm 0,3	6,7 \pm 0,4	2,1 \pm 0,1	4,0 \pm 0,1	-	-
(Boussana et al., 2003)						
Pre	-	-	1,96 \pm 0,13	3,78 \pm 0,10	-	4,71 \pm 0,12
Post	-	-	2,35 \pm 0,21 *	4,15 \pm 0,16 *	-	3,66 \pm 0,26 *
(Hue, Galy et al., 2001)						
Pre	-	-	2,32 \pm 0,1	4,44 \pm 0,4	-	-
Post	-	-	2,70 \pm 0,24 *	4,79 \pm 0,4 *	-	-

Por otra parte, es necesario ser prudente a la hora de interpretar dichos resultados como medida indirecta de la fatiga respiratoria, pues la posición de realización de la espirometría influye en los resultados de la misma (Álvarez et al., 2006) y los mencionados trabajos no explican en todas las ocasiones con suficiente detalle el procedimiento de realización de esta prueba.

Efecto de la cadencia

Otro grupo de trabajos ha estudiado la influencia de la cadencia de pedaleo en la carrera posterior. Vercruyssen et al. (2002) presentaron datos relativos al efecto de tres cadencias (libremente elegida, cadencia mecánicamente óptima y cadencia energéticamente óptima), concluyendo que la cadencia energéticamente óptima (rango entre 63,5 – 78,1 rpm) fue la más beneficiosa para el rendimiento en la carrera posterior, pues en los otros casos se evidenciaba un aumento progresivo del VO_2 . Sin embargo, Bernard et al. (2003) muestran que tres cadencias distintas (60 - 80 - 100 rpm), seleccionadas para el sector de ciclismo, no influyen en la marca conseguida en la carrera posterior sobre una distancia de 3000m. Así, se observa un desacuerdo entre los investigadores que conviene estudiar con mayor profundidad, pues aunque distintas cadencias de pedaleo no tienen efecto sobre el rendimiento de los extensores de la rodilla (Lepers, Millet y Maffiuletti, 2001), estudios recientes han mostrado que escoger cadencias bajas durante los minutos finales del sector de ciclismo de T2 puede tener efectos beneficiosos en el rendimiento posterior (Bentley, Cox, Green y Laursen, 2007; Gottschall y Palmer, 2002; Vercruyssen, Suriano, Bishop, Hausswirth y Brisswalter, 2005), ya que los triatletas modifican su patrón de carrera en función de la cadencia de pedaleo elegida anteriormente (Gottschall y Palmer, 2002).

Coste metabólico de la carrera

Íntimamente relacionado con las alteraciones cardiorrespiratorias vistas hasta ahora, encontramos la economía de la carrera o coste metabólico de la carrera. Son pocos los trabajos que han evaluado la influencia del ciclismo sobre el coste metabólico de la carrera a pesar de que se ha propuesto esta variable como determinante para el rendimiento (Hausswirth y Lehenaff, 2001; Millet, Millet, Hofmann y Candau, 2000; Miura et al., 1999). Por ejemplo, Guezecnec et al. (1996) observaron un descenso de la economía de la carrera al final del triatlón cuando ésta se comparaba con una carrera de la misma duración. De la misma forma, estos resultados han sido confirmados por otros estudios cuando se comparaba el triatlón con un maratón (Hausswirth et al., 1996) o se simulaba éste en un laboratorio (Miura et al., 1999).

Más recientemente, Díaz et al. (2007) han confirmado un efecto negativo del ciclismo sobre el rendimiento de la carrera posterior realizando pruebas de campo, aunque éste no se ha podido relacionar con variaciones del coste metabólico de la carrera en triatletas jóvenes de élite. Por tanto, aún quedan cuestiones sin resolver en torno a una variable tan importante para el rendimiento como lo es la economía de carrera.

Relación con el rendimiento

En algunos estudios se ha comparado la respuesta cardiaca y ventilatoria a la T2 de varios grupos de triatletas según niveles de rendimiento. Hue et al. (2000) compararon un grupo de triatletas de élite con un grupo de triatletas de nivel nacional. En un primer estudio

sugieren varios aspectos que pueden diferenciar a los triatletas en función de su nivel. Entre ellos, se encuentra una menor eficiencia respiratoria en la carrera de T2, respuesta ventilatoria mayor en la carrera y descenso de la DL_{CO} tras la transición en triatletas de menor nivel. Posteriormente, los resultados fueron confirmados en otro estudio muy parecido en el que disminuía la DL_{CO} en ambos grupos tras una transición, aunque ésta solo persistía al final en el grupo de menor nivel (Hue, Galy et al., 2001). Estos resultados no están de acuerdo con los encontrados por Millet et al. (2000), si bien, estos últimos constataron un aumento del consumo de oxígeno de los músculos respiratorios y del coste metabólico de la carrera que fue mayor en el grupo de menor nivel.

Además, un estudio reciente vuelve a mostrar resultados discordantes con los anteriores, mostrando que los triatletas de sexo masculino y de categoría junior de élite, se diferencian de los triatletas senior de élite por un umbral ventilatorio mayor en los últimos, mientras que las mujeres junior élite, muestran un pico de potencia menor en pruebas máximas realizadas en cicloergómetro, junto a mejor coste metabólico de la carrera (Millet y Bentley, 2004). Ahora bien, hay que tener en cuenta que este desacuerdo pudo deberse a las diferencias en el protocolo utilizado, significativamente distinto entre los dos grupos de investigación.

Entrenamiento de la segunda transición

A pesar de que el entrenamiento específico de la T2 es relativamente frecuente en los triatletas, revisando la literatura científica al respecto apenas es posible encontrar estudios que hayan abordado el entrenamiento de la T2. Únicamente, el grupo de investigación formado por Hue et al. se ha ocupado de esta cuestión en dos estudios.

En un primer estudio, se determinó que realizar repeticiones cortas de la T2 (5 series de 6 minutos de ciclismo seguidos de 4 minutos de carrera) provocaba una respuesta ventilatoria mayor que una transición habitual. En este caso, los autores sugieren que este método permite estimular las adaptaciones específicas necesarias en la T2 (Hue, Boussana et al., 2001). Posteriormente, otro estudio en el que dos grupos realizaban un entrenamiento de 6 semanas, con y sin sesiones específicas de entrenamiento de la T2, se observó que el grupo que entrenaba específicamente obtenía mejores resultados en la primera parte de la carrera, lo que sugería que el entrenamiento específico puede ayudar a los triatletas a mejorar su rendimiento en la transición (Hue, Valluet, Blanc y Hertogh, 2002).

Tomando en conjunto los resultados de los dos trabajos mencionados anteriormente, parece claro que el entrenamiento específico de la T2 desemboca en mejoras puntuales del rendimiento. Aun así, queda por evaluar con mayor profundidad los efectos y las consecuencias de este tipo de entrenamiento en un periodo más largo (Hue, Boussana et al., 2001).

No obstante, llama la atención que las mejoras sólo se produjeran en la primera vuelta (Hue et al., 2002), de modo que éstas podrían estar más relacionadas con una anticipación a la intensidad del ejercicio que con una adaptación de carácter morfológico o funcional. En efecto, diferentes trabajos establecen que los sujetos son capaces de anticipar, en función de experiencias previas, la intensidad que podrán desarrollar en un determinado ejercicio, poniendo de manifiesto el gobierno del comando central como “límite máximo del rendimiento” (Ansley, Robson, St Clair Gibson y Noakes, 2004; Ansley, Schabort, St Clair Gibson, Lambert y Noakes, 2004; Foster, Schrager, Snyder y Thompson, 1994; Noakes, St Clair Gibson y Lambert, 2004, 2005; St Clair Gibson y Noakes, 2004; Ulmer, 1996). Desgraciadamente, Hue et al. (2002) no establecen que tipo adaptación presentan los participantes en su estudio y no es posible establecer una conclusión clara en este aspecto.

Conclusiones y futuras líneas de investigación

El triatlón muestra unas características especiales que vienen dadas no sólo por los aspectos comunes a otros deportes de resistencia, sino por el enlace sucesivo de varias disciplinas deportivas que implican un aspecto más desde el punto de vista de la regulación cardiovascular. En este sentido, la sucesión de ciclismo y carrera a pie que se da en el triatlón se ha convertido en un momento clave para el rendimiento por la respuesta cardiorrespiratoria que desencadena. Esta respuesta, comparada con una carrera a pie aislada, está caracterizada por aumentos progresivos de la frecuencia cardíaca y respiratoria, fatiga de los músculos respiratorios, posibles alteraciones en la difusión, y descenso de la economía de carrera y del rendimiento. Las causas que permiten explicar esta respuesta específica son de carácter multifactorial y no es posible establecer claramente la importancia de cada uno de ellas.

Aunque aun no es posible saber si la respuesta observada es causa o consecuencia del nivel de rendimiento (Hue, Galy et al., 2001), parece que el entrenamiento específico de la T2 provoca mejoras en el mismo, al menos al inicio de la carrera a pie (Hue et al., 2002), de modo que monitorizar el rendimiento durante la segunda transición podría ser una herramienta útil para evaluar la capacidad de rendimiento de los sujetos.

Con todo esto, aún quedan por resolver algunas cuestiones relativas a la segunda transición, a saber, carácter de las adaptaciones que permiten la mejora en el rendimiento o efecto del entrenamiento en la respuesta cardiorrespiratoria a lo largo de una o varias temporadas.

Referencias bibliográficas.

- Álvarez, M.; Díaz, V.; Peinado, A. B.; Benito, P. J.; Martín, C. & Calderón F. J. (2006, 5-8 de Julio). *Variation in lung volumes with position*. Paper presented at the 11th Annual Congress of the European College of Sport Science, Lausanne (Switzerland).
- Ansley, L.; Robson, P. J.; St Clair Gibson, A. & Noakes, T. D. (2004). Anticipatory pacing strategies during supramaximal exercise lasting longer than 30 s. *Med Sci Sports Exerc*, 36(2), 309-314.
- Ansley, L.; Schabort, E.; St Clair Gibson, A.; Lambert, M. I. & Noakes, T. D. (2004). Regulation of pacing strategies during successive 4-km time trials. *Med Sci Sports Exerc*, 36(10), 1819-1825.
- Bentley, D. J.; Cox, G. R.; Green, D. & Laursen, P. B. (2007). Maximising performance in triathlon: Applied physiological and nutritional aspects of elite and non-elite competitions. *J Sci Med Sport*.
- Bernard, T.; Vercruyssen, F.; Grego, F.; Hauswirth, C.; Lepers, R.; Vallier, J. M. et al. (2003). Effect of cycling cadence on subsequent 3 km running performance in well trained triathletes. *Br J Sports Med*, 37(2), 154-159.
- Boussana, A.; Galy, O.; Hue, O.; Matecki, S.; Varray, A.; Ramonatxo, M. et al. (2003). The effects of prior cycling and a successive run on respiratory muscle performance in triathletes. *Int J Sports Med*, 24(1), 63-70.
- Boussana, A.; Matecki, S.; Galy, O.; Hue, O.; Ramonatxo, M. & Le Gallais, D. (2001). The effect of exercise modality on respiratory muscle performance in triathletes. *Med Sci Sports Exerc*, 33(12), 2036-2043.
- Caillaud, C.; Serre-Cousine, O.; Anselme, F.; Capdevilla, X. & Prefaut, C. (1995). Computerized tomography and pulmonary diffusing capacity in highly trained athletes after performing a triathlon. *J Appl Physiol*, 79(4), 1226-1232.
- Calderón, F. J. (2007). *Fisiología aplicada al deporte* (second ed.). Madrid: Tébar.
- Dempsey, J. A.; Aaron, E. & Martin, B. J. (1988). Pulmonary function and prolonged exercise. In D. R. Lamb & R. Murray (Eds.), *Perspectives in exercise science and sports medicine* (Vol I: Prolonged exercise, pp. 75-124). Indianapolis: Benchmark Press, Inc.
- Díaz, V.; Peinado, A. B.; Benito, P. J.; Álvarez, M.; Zapico, A. G.; Calderón, F. J. et al. (2007, 11-14 July). *Evolution of energy cost of running during cycle-run succession in elite young triathletes*. Paper presented at the 12th Annual Congress of the European Collegue of Sport Science, Jyväskylä (Finland).
- Fortney, S. M.; Wenger, C. B.; Bove, J. R. & Nadel, E. R. (1983). Effect of blood volume on forearm venous and cardiac stroke volume during exercise. *J Appl Physiol*, 55(3), 884-890.
- Foster, C.; Schrager, M.; Snyder, A. C. & Thompson, N. N. (1994). Pacing strategy and athletic performance. *Sports Med*, 17(2), 77-85.
- Freund, B. J.; Joyner, M. J.; Jilka, S. M.; Kalis, J.; Nittolo, J. M.; Taylor, J. A. et al. (1987). Thermoregulation during prolonged exercise in heat: alterations with beta-adrenergic blockade. *J Appl Physiol*, 63(3), 930-936.

- Galy, O.; Hue, O.; Boussana, A.; Peyreigne, C.; Couret, I.; Le Gallais, D. et al. (2003). Effects of the order of running and cycling of similar intensity and duration on pulmonary diffusing capacity in triathletes. *Eur J Appl Physiol*, 90(5-6), 489-495.
- Gonzalez-Alonso, J.; Calbet, J. A. L. & Nielsen, B. (1998). Muscle blood flow is reduced with dehydration during prolonged exercise in humans. *J Physiol*, 513 (Pt 3), 895-905.
- González, J.; Calbet, J. A. L. & Nielsen, B. (1999). Metabolic and thermodynamic responses to dehydration-induced reductions in muscle blood flow in exercising humans. *J Physiol*, 520 (Pt 2), 577-589.
- Gottschall, J. S. & Palmer, B. M. (2002). The acute effects of prior cycling cadence on running performance and kinematics. *Med Sci Sports Exerc*, 34(9), 1518-1522.
- Grant, S. M.; Green, H. J.; Phillips, S. M. & Sutton, J. R. (1997). Effects of acute expansion of plasma volume on cardiovascular and thermal function during prolonged exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 76(4), 356-362.
- Guezennec, C. Y.; Vallier, J. M.; Bigard, A. X. & Durey, A. (1996). Increase in energy cost of running at the end of a triathlon. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 73(5), 440-445.
- Hamilton, M. T.; González, J.; Montain, S. J. & Coyle, E. F. (1991). Fluid replacement and glucose infusion during exercise prevent cardiovascular drift. *J Appl Physiol*, 71(3), 871-877.
- Hanel, B.; Clifford, P. S. & Secher, N. H. (1994). Restricted postexercise pulmonary diffusion capacity does not impair maximal transport for O₂. *J Appl Physiol*, 77(5), 2408-2412.
- Hanel, B.; Gustafsson, F.; Larsen, H. H. & Secher, N. H. (1993). Influence of exercise intensity and duration on post-exercise pulmonary diffusion capacity. *Int J Sports Med*, 14 Suppl 1, S11-14.
- Hauswirth, C.; Bigard, A. X.; Berthelot, M.; Thomaidis, M. & Guezennec, C. Y. (1996). Variability in energy cost of running at the end of a triathlon and a marathon. *Int J Sports Med*, 17(8), 572-579.
- Hauswirth, C.; Bigard, A. X. & Guezennec, C. Y. (1997). Relationships between running mechanics and energy cost of running at the end of a triathlon and a marathon. *Int J Sports Med*, 18(5), 330-339.
- Hauswirth, C. & Lehenaff, D. (2001). Physiological demands of running during long distance runs and triathlons. *Sports Med*, 31(9), 679-689.
- Hill, N. S.; Jacoby, C. & Farber, H. W. (1991). Effect of an endurance triathlon on pulmonary function. *Med Sci Sports Exerc*, 23(11), 1260-1264.
- Hsia, C. C. W. (2002). Recruitment of lung diffusing capacity: update of concept and application. *Chest*, 122(5).
- Hue, O. (2003). Prediction of drafted-triathlon race time from submaximal laboratory testing in elite triathletes. *Can J Appl Physiol*, 28(4), 547-560.
- Hue, O.; Boussana, A.; Galy, O.; Le Gallais, D.; Chamari, K. & Prefaut, C. (2001). The effect of multi-cycle-run blocks on pulmonary function in triathletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 41(3), 300-305.

- Hue, O.; Galy, O.; Le Gallais, D. & Prefaut, C. (2001). Pulmonary responses during the cycle-run succession in elite and competitive triathletes. *Can J Appl Physiol*, 26(6), 559-573.
- Hue, O.; Le Gallais, D.; Boussana, A.; Chollet, D. & Prefaut, C. (1999). Ventilatory responses during experimental cycle-run transition in triathletes. *Med Sci Sports Exerc*, 31(10), 1422-1428.
- Hue, O.; Le Gallais, D.; Boussana, A.; Chollet, D. & Prefaut, C. (2000). Performance level and cardiopulmonary responses during a cycle-run trial. *Int J Sports Med*, 21(4), 250-255.
- Hue, O.; Le Gallais, D.; Boussana, A. & Prefaut, C. (2001). DLCO response to experimental cycle-run succession in triathletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 41(4), 441-447.
- Hue, O.; Le Gallais, D.; Chollet, D.; Boussana, A. & Prefaut, C. (1998). The influence of prior cycling on biomechanical and cardiorespiratory response profiles during running in triathletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 77(1-2), 98-105.
- Hue, O.; Le Gallais, D. & Prefaut, C. (2001). Specific pulmonary responses during the cycle-run succession in triathletes. *Scand J Med Sci Sports*, 11(6), 355-361.
- Hue, O.; Valluet, A.; Blonc, S. & Hertogh, C. (2002). Effects of multicycle-run training on triathlete performance. *Res Q Exerc Sport*, 73(3), 289-295.
- Johnson, B. D.; Babcock, M. A.; Suman, O. E. & Dempsey, J. A. (1993). Exercise-induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. *J Physiol*, 460, 385-405.
- Kellogg Jr., D. L. & Pérgola, P. (2000). Skin responses to exercise and training. In W. E. J. Garret & D. T. Kirkendall (Eds.), *Exercise and Sport Science* (pp. 239-250). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Kreider, R. B.; Boone, T.; Thompson, W. R.; Burkes, S. & Cortes, C. W. (1988). Cardiovascular and thermal responses of triathlon performance. *Med Sci Sports Exerc*, 20(4), 385-390.
- Landers, G. J.; Blanksby, B. A.; Ackland, T. R. & Smith, D. (2000). Morphology and performance of world championship triathletes. *Ann Hum Biol*, 27(4), 387-400.
- Lepers, R.; Millet, G. Y. & Maffiuletti, N. A. (2001). Effect of cycling cadence on contractile and neural properties of knee extensors. *Med Sci Sports Exerc*, 33(11), 1882-1888.
- Mador, M. J. & Tobin, M. J. (1992). The effect of inspiratory muscle fatigue on breathing pattern and ventilatory response to CO₂. *J Physiol*, 455, 17-32.
- Millet, G. P. & Bentley, D. J. (2004). The physiological responses to running after cycling in elite junior and senior triathletes. *Int J Sports Med*, 25(3), 191-197.
- Millet, G. P.; Millet, G. Y.; Hofmann, M. D. & Candau, R. B. (2000). Alterations in running economy and mechanics after maximal cycling in triathletes: influence of performance level. *Int J Sports Med*, 21(2), 127-132.
- Millet, G. P. & Vleck, V. E. (2000). Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. *Br J Sports Med*, 34(5), 384-390.

- Miura, H.; Kitagawa, K. & Ishiko, T. (1999). Characteristic feature of oxygen cost at simulated laboratory triathlon test in trained triathletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 39(2), 101-106.
- Montain, S. J. & Coyle, E. F. (1992a). Fluid ingestion during exercise increases skin blood flow independent of increases in blood volume. *J Appl Physiol*, 73(3), 903-910.
- Montain, S. J. & Coyle, E. F. (1992b). Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol*, 73(4), 1340-1350.
- Noakes, T. D.; St Clair Gibson, A. & Lambert, E. V. (2004). From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans. *Br J Sports Med*, 38(4), 511-514.
- Noakes, T. D.; St Clair Gibson, A. & Lambert, E. V. (2005). From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. *Br J Sports Med*, 39(2), 120-124.
- O'Toole, M. L. & Douglas, P. S. (1995). Applied physiology of triathlon. *Sports Med*, 19(4), 251-267.
- Quigley, E. J. & Richards, J. G. (1996). The effects of cycling on running mechanics. *J Appl Biomech*, 12(4), 470-479.
- Raven, P. B. & Stevens, G. H. J. (1988). Cardiovascular function and prolonged exercise. In D. R. Lamb & R. Murray (Eds.), *Perspectives in exercise science and sport medicine* (Vol I: Prolonged exercise, pp. 43-74). Indianapolis: Benchmark Pres, Inc.
- Rowell, L. B. (1974). Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiol Rev*, 54(1), 75-159.
- Rowlands, D. S. & Downey, B. (2000). Physiology of Triathlon. In W. E. J. Garret & D. T. Kirkendall (Eds.), *Exercise and Sport Science* (pp. 919-939). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- St Clair Gibson, A. & Noakes, T. D. (2004). Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans. *Br J Sports Med*, 38(6), 797-806.
- St Croix, C. M.; Harms, C. A.; McClaran, S. R.; Nickele, G. A.; Pegelow, D. F.; Nelson, W. B. et al. (1998). Effects of prior exercise on exercise-induced arterial hypoxemia in young women. *J Appl Physiol*, 85(4), 1556-1563.
- Ulmer, H. V. (1996). Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback. *Experientia*, 52(5), 416-420.
- Vercruyssen, F.; Brisswalter, J.; Hausswirth, C.; Bernard, T.; Bernard, O. & Vallier, J. M. (2002). Influence of cycling cadence on subsequent running performance in triathletes. *Med Sci Sports Exerc*, 34(3), 530-536.
- Vercruyssen, F.; Suriano, R.; Bishop, D.; Hausswirth, C. & Brisswalter, J. (2005). Cadence selection affects metabolic responses during cycling and subsequent running time to fatigue. *Br J Sports Med*, 39(5), 267-272.

Díaz, V.; Peinado, A.B.; Álvarez, M.; Zapico, A.G.; Benito, P.J.; Calderón F.J. (2009). La respuesta cardiorrespiratoria durante la segunda transición del triatlón: revisión. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*. 14(5), 45-58. <http://www.cafyd.com/REVISTA/01405.pdf>

West, J. B. (2000). Invited review: pulmonary capillary stress failure. *J Appl Physiol*, 89(6), 2483-2489; discussion 2497.

West, J. B.; Tsukimoto, K.; Mathieu-Costello, O. & Prediletto, R. (1991). Stress failure in pulmonary capillaries. *J Appl Physiol*, 70(4), 1731-1742.

Zderic, T. W.; Ruby, B. C.; Hartpence, J. W. & Meyers, M. (1997). Physiological predictors of combined cycling and running performance in trained male triathletes [abstract no. 1262]. *Med Sci Sports Exerc*, 29(5 Suppl.), S221.