

Efectos del ejercicio sobre la glucosa y el lactato en triatletas amateurs

Effects of exercise on glucose and lactate in amateur triathletes

*Jonathan Galán Carracedo, *Albert Vivet Comas, **María Soledad García, ***Oscar A. Niño Méndez, ****July C. Melo Tavera, *****Andrea Suárez Segade, *****Guillermo R. Oviedo

*Universidad Ramon Llull (España), **Universidad Nacional de Tucumán (Argentina), ***Universidad de Cundinamarca (Colombia), ****Universidad del País Vasco (España), *****Labsportsalud (España), *****Mississippi State University (USA)

Resumen. Objetivo: En este estudio se comparó la respuesta de la glucemia y del lactato, durante el ejercicio y la recuperación en la carrera y ciclismo en un grupo de triatletas amateurs. Métodos: Durante el año 2019, 59 triatletas amateurs hombres ($32,9 \pm 4,55$ años) de la provincia de Barcelona fueron asignados aleatoriamente a una prueba de esfuerzo en tapiz rodante ($n=30$) o a una prueba en cicloergómetro ($n=29$). Se obtuvieron parámetros ventilatorios, glucemia y lactato, antes de la prueba en reposo, al final de la prueba y, a los 5min de recuperación. Resultados: Al finalizar la prueba y durante la recuperación, la glucemia fue mayor en el grupo de tapiz rodante que en el grupo de cicloergómetro ($p<0,001$). Al finalizar, el lactato fue mayor en cicloergómetro que en tapiz rodante ($p=0,039$). Conclusiones: Los resultados de este estudio revelan diferencias metabólicas significativas entre la carrera y el ciclismo durante pruebas de esfuerzo máximo. La glucemia fue notablemente más elevada al finalizar la prueba en tapiz rodante y durante la recuperación, en comparación con el cicloergómetro. Esto sugiere una mayor liberación de glucosa durante la carrera, posiblemente debido al mayor reclutamiento muscular y demanda energética. En contraste, los niveles de lactato fueron superiores tras la prueba en cicloergómetro, lo que podría atribuirse a un esfuerzo más localizado en grupos musculares específicos. Nuestros resultados deberían ser tenidos en cuenta por entrenadores y triatletas a la hora de diseñar sus programas de entrenamiento para promover una mayor eficacia en la preparación física y el rendimiento.

Palabras clave: glucemia, lactato, triatletas, ciclismo, carrera.

Abstract. Objective: In this study, we compared the glycaemia and lactate response during exercise and recovery in running and cycling in a group of amateur triathletes. Methods: In 2019, 59 male amateur triathletes (32.9 ± 4.55 years) from the province of Barcelona were randomly assigned to a treadmill stress test ($n=30$) or a cycle ergometer test ($n=29$). Ventilatory parameters, glycaemia and lactate, were obtained before the test at rest, at the end of the test and after 5 minutes of recovery. Results: At the end of the test and during recovery, blood glucose was higher in the treadmill group than in the cycle ergometer group ($p<0.001$). Lactate was higher in the cycle ergometer than in the treadmill at the end of the tests ($p=0.039$). Conclusions: The results of this study reveal significant metabolic differences between running and cycling during maximal effort tests. Blood glucose was higher at the end of the treadmill test and during recovery compared to the cycle ergometer. This suggests a greater release of glucose during running, possibly due to greater muscle recruitment and energy demand. In contrast, lactate levels were higher after the cycle ergometer test, which could be attributed to a more localized effort in specific muscle groups. Our findings should be taken into account by sport scientists and triathletes when designing their training programs to promote greater effectiveness in physical preparation and performance.

Keywords: glycaemia, lactate, triathletes, cycling, running.

Fecha recepción: 08-04-24. Fecha de aceptación: 27-10-24

Guillermo R. Oviedo

gro16@msstate.edu

Introducción

El triatlón es un deporte de alta exigencia, que requiere un gran volumen de entrenamiento. La práctica y entrenamiento de este deporte emplea diferentes intensidades y cargas (Mallol et al., 2015), donde una inadecuada gestión del esfuerzo o un déficit en la ingesta de nutrientes, podría resultar en una depleción energética durante el entrenamiento o la competición (Stewart et al., 2022).

Un estudio reciente que evaluó la ingesta nutricional de 4.037 ciclistas y triatletas amateurs españoles reveló un desequilibrio dietético significativo en una proporción considerable de estos deportistas. Específicamente, se observó un déficit en la ingesta de carbohidratos (CHO) acompañado de un consumo excesivo de proteínas (Muros et al., 2021). Este desequilibrio nutricional puede tener un impacto directo en el rendimiento, ya que el ejercicio depende del suministro constante de adenosín trifosfato (ATP), que proviene de diversos sustratos, incluidos glucosa, glucógeno, ácidos grasos y triglicéridos. El ATP es esencial para mantener la contracción muscular, así como

la intensidad y duración del ejercicio, factores que determinan qué vías energéticas contribuyen en mayor medida a su producción (Hargreaves & Spriet, 2020).

Los CHO endógenos disponibles para la producción energética se encuentran como glucosa o glucógeno en el músculo esquelético ($\approx 300-400$ mmol de glucosilo/kg de masa seca) o en el hígado (≈ 100 mmol de glucosilo/kg de masa seca), además, circulan en sangre como glucosa (5 g) (Jeukendrup et al., 1999), impactando así el rendimiento y la recuperación una vez estos hayan sido ajustados a las demandas y objetivos individuales (Podlogar & Wallis, 2022).

La utilización de la glucosa o glucógeno predomina cuando el ejercicio progresa de moderada a alta intensidad, al mismo tiempo que se observa una disminución de la circulación plasmática de ácidos grasos, por lo que se reduce su oxidación. A intensidades menores del 65% del consumo de oxígeno máximo ($VO_{2\text{máx}}$) (Cejuela, 2023), prima la utilización de lípidos, aunque se deben considerar otros factores asociados como son la dieta, la edad, nivel de entrenamiento y el sexo del deportista (Harris et al., 2018). Pese a que es posible manipular la cantidad de glucógeno

almacenado (llegando a 700 a 900 mmol/kg), por medio de técnicas que combinan cargas de hidratos con entrenamiento, sus reservas continúan siendo finitas (Burke et al., 2021). Por otro lado, en el ejercicio prolongado es prioritario mantener la homeostasis de la glucemia en la que las reservas hepáticas cumplen un rol central. En relación a esto, diversos estudios demostraron el efecto positivo de la ingesta de glucosa exógena en ejercicios prolongados, ya que se observa que el organismo elige emplear dicho sustrato para ahorrar los almacenes de glucógeno muscular y hepático, manteniendo la glucemia estable (Alghannam et al., 2021; Brooks, 2020; King et al., 2018).

Durante el ejercicio, el ingreso de glucosa a la célula muscular es independiente de la acción de la insulina, ya que el ejercicio físico provoca la translocación de los transportadores GLUT4, estimulando su ingreso (Flores-Opazo et al., 2020). En ejercicios de intensidad moderada entre el 60 al 75% del $\text{VO}_2\text{máx}$, se inhibe la secreción de insulina, lo que provoca un incremento en la producción de glucosa hepática por aumentar su sensibilidad al glucagón (Malone et al., 2021).

Cuando la intensidad del ejercicio supera el 80% del $\text{VO}_2\text{máx}$, la glucosa se convierte en el combustible metabólico por excelencia, mientras que el agotamiento del glucógeno y la hipoglucemia pueden limitar el rendimiento, promoviendo la fatiga (Marliss & Vranic, 2002). En intensidades elevadas de ejercicio, la tasa de resíntesis de ATP requerido supera las proporcionadas por el metabolismo aeróbico, por lo que la célula muscular obtiene la mayor parte del ATP mediante rutas metabólicas cuyos procesos se desarrollan en el citosol de la célula.

Entre estos procesos, la glucólisis citosólica juega un papel fundamental, provocando un aumento en las concentraciones musculares y sanguíneas de lactato e hidrogeniones (H^+) (Hargreaves & Spriet, 2020). Este incremento en las concentraciones de lactato e H^+ desencadena su flujo entre células y tejidos, facilitado por las proteínas membranales de monocarboxilato (MCT). Mediante el transporte de lactato, los sustratos de combustible y energía pueden intercambiarse entre las células productoras (impulsoras), como las del músculo esquelético, y las células consumidoras (receptoras), como las del cerebro, el corazón, los músculos, el hígado y los riñones (Brooks, Curl, et al., 2022).

En el período post-ejercicio, el hígado puede reconvertirlo en glucosa mediante el proceso de gluconeogénesis. Posteriormente, esta glucosa puede ser utilizada como fuente de energía por el músculo o almacenada en forma de glucógeno (Brooks, Arevalo, et al., 2022).

Es importante destacar que la percepción del lactato ha evolucionado significativamente en la fisiología del ejercicio. Anteriormente asociado principalmente con la fatiga muscular, el lactato es ahora reconocido como un importante intermediario metabólico durante el ejercicio (Ferguson et al., 2018). Las investigaciones actuales han revelado su papel multifacético como combustible energético para el músculo esquelético y cardíaco, así como para el tejido cerebral. Además, se ha identificado como un sustrato

mitocondrial crucial y un precursor glucogénico (Brooks, Osmond, et al., 2022).

En cuanto al coste energético, se han observado variaciones notables entre el ciclismo y la carrera (Carter et al., 2000). Aunque los principales grupos musculares activos en el ciclismo y la carrera son esencialmente los mismos, principalmente los cuádriceps y los flexores plantares, la naturaleza de las contracciones musculares difiere significativamente. En el ciclismo, las acciones musculares predominantes son las contracciones concéntricas, mientras que en la carrera, las contracciones excéntricas juegan un papel fundamental (Bijker et al., 2002).

Las diferencias biomecánicas y tipo de contracción muscular en cada modalidad deportiva, pueden influir en la respuesta metabólica durante el ejercicio. Estudios comparativos que han examinado pruebas a intensidades submáximas similares en bicicleta y carrera han revelado que la concentración de lactato en sangre tiende a ser más elevada después de realizar ejercicio en bicicleta (Millet et al., 2009; Pfeiffer et al., 2011). Este hallazgo sugiere que, a pesar de intensidades de ejercicio comparables, el ciclismo puede inducir un mayor estrés metabólico o una mayor dependencia del metabolismo anaeróbico en comparación con la carrera.

Estas observaciones tienen implicaciones importantes para el diseño de programas de entrenamiento y la evaluación del rendimiento en deportes que involucran ciclismo y carrera, como el triatlón. Además, subrayan la necesidad de considerar las diferencias específicas de cada modalidad al interpretar los resultados de pruebas de esfuerzo y al prescribir intensidades de entrenamiento.

Hasta donde sabemos, no existen estudios donde se analice el comportamiento de la glucosa y el lactato en sangre en deportistas de triatlón amateurs. Por ello, y teniendo en cuenta los estudios expuestos anteriormente, consideramos que el presente estudio puede aportar conocimiento sobre los efectos del ejercicio máximo y la recuperación sobre dichas variables. El objetivo principal de este estudio fue analizar, describir y comparar el comportamiento de la glucemia y el lactato en sangre durante el ejercicio máximo y la recuperación en diferentes modalidades de ejercicio (ciclismo vs. carrera) en deportistas de triatlón amateurs españoles.

Materiales y métodos

Diseño del estudio y participantes

Un total de cincuenta y nueve triatletas amateurs adultos varones ($32,9 \pm 4,55$ años) de la provincia de Barcelona participaron en este estudio observacional, descriptivo y de corte transversal. El estudio se llevó a cabo en el año 2019, en la ciudad de Cornellá (provincia de Barcelona, España). Para poder participar, los deportistas debían tener entre 25 y 40 años de edad, llevar entrenando como triatletas durante 4 años como mínimo y no haber sufrido lesiones que les impidieran entrenar durante todo el año anterior al presente estudio. Antes del inicio de las evaluaciones, todos los participantes fueron informados de la duración del estudio

y las pruebas a realizar. Después de firmar un consentimiento informado, se realizó una entrevista médica y un examen médico general para descartar posibles contraindicaciones al ejercicio físico. Todos los participantes llevaban $8,4 \pm 4,1$ años entrenando triatlón. Tras firmar el consentimiento informado para participar, los sujetos fueron asignados de manera aleatoria al grupo que realizaría una prueba de ejercicio cardiopulmonar progresivo hasta el agotamiento (PECP) en tapiz rodante o el grupo que la realizaría en cicloergómetro. Todos los participantes fueron informados de abstenerse de realizar esfuerzos moderados o vigorosos 24 horas antes de los test, también se les indicó que no debían consumir café, alcohol o cualquier tipo de bebida energética durante las 24 horas previas al estudio. Este estudio siguió las directrices nacionales sobre los principios éticos en la investigación médica con seres humanos, basadas en la Declaración de Helsinki y sus revisiones (World Medical Association, 2013).

Medidas antropométricas

La altura se midió con una precisión de 0,1 cm utilizando un estadiómetro (Seca 225, Seca, Hamburgo, Alemania). El peso se midió con una precisión de 0,1 kg en una báscula digital (Soehnle 2755, Backnang, Alemania) con el sujeto vestido con ropa ligera y sin calzado. El índice de masa corporal (IMC) se calculó como el peso en kilogramos dividido por la altura en metros al cuadrado (kg/m^2).

Se realizó la medición de los pliegues cutáneos tricípital, subescapular, abdominal, suprailíaco, anterior del muslo y medial de la pierna, en el lado dominante del cuerpo utilizando un calibre Holtain (Holtain Ltd., Walles, Reino Unido) y siguiendo las directrices de ISAK (World Conference on Kinanthropometry Chile, 2019). El porcentaje de grasa corporal (%) se calculó utilizando la ecuación de Siri (Lawrence, J. H., & Gofman, 2013) y el porcentaje de masa libre de grasa corporal (%) se calculó utilizando la ecuación de Matiegka (Fernández Vieitez & Ricardo Aguilera, 2001). Todas las medidas fueron tomadas tres veces por la misma persona y se utilizó la media de las dos más cercanas para el análisis.

Evaluación de la capacidad cardiorrespiratoria

Todas las pruebas se realizaron a la misma hora programada a una temperatura ambiente de 23-24°C y humedad relativa entre 55 y 65%. Treinta y cuatro participantes realizaron una PECP en un tapiz rodante (Pulsar 4.0, HP Cosmos Sports & Medical gmbh, Nussdorf-Traunstein, Alemania). La velocidad inicial del tapiz rodante se fijó en 6 km/h durante seis minutos y 1,5% de pendiente. A partir del sexto minuto se aumentó la velocidad en 1 km/h cada dos minutos hasta el agotamiento. Por otro lado, 25 participantes realizaron la PECP en cicloergómetro (Ergoselect 200, ergoline GmbH, Baden-Württemberg, Bitz, Alemania). La carga de trabajo inicial se estableció en función del peso corporal del participante. Por ejemplo, si el peso del participante era de 70 kg, la carga de trabajo inicial se estableció en 70 W durante seis minutos, después de lo cual la

carga de trabajo se aumentó en 30 W cada dos minutos hasta el agotamiento. El esfuerzo máximo durante ambas pruebas se determinó mediante una meseta en la frecuencia cardíaca y en el $\text{VO}_2\text{máx}$ o cuando la persona alcanzó el número 19-20 en la escala de esfuerzo percibido (RPE) de Borg (Borg, 1982).

Las variables cardiorrespiratorias se midieron respiración a respiración mediante un sistema automático de análisis de gases (PowerCube Ergo, Ganshorn, Niederlauer, Alemania). Las calibraciones de gas y volumen se realizaron antes de cada prueba, de acuerdo con las pautas del fabricante. Los valores pico se registraron como el valor más alto durante los últimos 30 segundos de ejercicio. Durante la PECP, la frecuencia cardíaca se controló de manera continua mediante el uso de un electrocardiograma de doce derivaciones (CardioScan v.4.0, DM Software, Stateline, Nevada, EE. UU.).

Mediciones de glucemia

Todos los participantes recibieron instrucciones de tomar un desayuno ligero una hora y media antes de la prueba. Para evaluar los niveles de glucemia, se obtuvieron muestras de sangre capilar mediante un método de punción digital y se analizaron inmediatamente (Blood Glucose Meter Contour®XT, Bayer, Basilea, Suiza). Se tomó sangre capilar en reposo, al final de la prueba y cinco minutos post ejercicio.

Mediciones de lactato

Se tomó sangre capilar del lóbulo de la oreja para medir la concentración de lactato por método enzimático (Lactate Plus TM, Nova Biomedical, Cheshire, Reino Unido). Antes de cada medición de lactato, el analizador se calibró con una solución estándar de lactato de 10 mmol/l. Se tomó sangre capilar en reposo, al final de la prueba y cinco minutos post ejercicio.

Análisis estadístico

Se obtuvieron estadísticas descriptivas para todas las variables, incluyendo altura, edad, peso, IMC, % de masa magra y grasa corporal, parámetros respiratorios, glucemia y lactato sanguíneo. Antes de comparar los grupos, los datos se sometieron a pruebas de normalidad y homocedasticidad mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Levene, respectivamente. Se utilizó un ANOVA de una vía para comparar las diferencias entre los grupos.

Para el análisis de posibles interacciones, se realizó un análisis de medidas repetidas (ANOVA) de dos factores (tapiz rodante y cicloergómetro) y tres momentos (basal; final de la prueba y recuperación). Las diferencias entre grupos en cada nivel se examinaron mediante la prueba *t* de Student para muestras independientes, mientras que las diferencias intra-grupo se examinaron mediante la prueba *t* de Student para muestras pareadas. Para todas las comparaciones se utilizó la corrección de Bonferroni. Los valores críticos para la significación estadística se asumieron en un nivel α inferior a 0,05. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el Paquete Estadístico para Ciencias Sociales (SPSS) v.20.0 (IBM SPSS Statistics, Chicago, IL, EE. UU.).

Resultados

Características descriptivas de los participantes

Las características y los parámetros de capacidad cardiorespiratoria de los participantes se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.

Características descriptivas de los participantes.

Variables	Total (n=59)	Tapiz rodante (n=30)	Cicloergómetro (n=29)	Valor-p
Edad (años)	32,9 (4,56)	32,8 (4,88)	33,1 (4,18)	0,833
Antropométricas				
Peso (kg)	73,1 (6,88)	73,8 (7,48)	72,0 (5,96)	0,335
Altura (m)	1,78 (0,06)	1,78 (0,06)	1,78 (0,05)	0,966
IMC (kg/m ²)	23,1 (1,76)	23,3 (1,95)	22,8 (1,45)	0,249
Masa libre de grasa (%)	46,4 (4,27)	45,7 (4,57)	47,4 (3,70)	0,145
Masa grasa (%)	11,6 (3,08)	12,1 (3,40)	11,0 (2,55)	0,205
Capacidad Cardiorespiratoria				
VO ₂ máx absoluto (L/min)	3,99 (0,42)	3,97 (0,42)	4,03 (0,36)	0,552
VO ₂ máx relativo (ml/kg/min)	55,4 (4,96)	54,8 (4,47)	56,4 (5,81)	0,185
VCO ₂ (L/min)	4,13 (0,50)	3,97 (0,43)	4,41 (0,49)	0,001
QR	1,07 (0,05)	1,05 (0,05)	1,11 (0,05)	< 0,001
VE (L/min)	135,0 (23,6)	134,5 (26,4)	136,0 (18,3)	0,812
FC (Lat/min)	183 (7)	183 (7)	182 (7)	0,510

Nota: los datos se expresan como media (Desviación Estándar). Abreviaturas: IMC: Índice de Masa Corporal; VO₂: consumo de oxígeno; VCO₂: producción de dióxido de carbono; QR: cociente respiratorio; VE: ventilación; FC: Frecuencia cardíaca.

Evaluación de glucosa en sangre durante cada prueba de ejercicio cardiopulmonar

Los valores de glucosa en sangre antes, al finalizar la prueba y a los 5 minutos de finalizada la prueba sobre tapiz rodante pueden verse en la Tabla 2.

Tabla 2.

Glucosa en sangre durante una prueba de esfuerzo cardiopulmonar máxima en tapiz rodante.

Variable	Tapiz rodante (n=30)	Valor-p
Basal (mg/dl)	100,7 (11,2)	Basal vs Final < 0,001*
Final (mg/dl)	137,6 (26,0)	
Recuperación (mg/dl)	138,7 (20,8)	Final vs Recuperación 1,012

Nota: los datos se expresan como media (desviación estándar). Los datos de recuperación se obtuvieron durante los primeros 5 minutos. *Diferencia significativa entre grupos $p < 0,05$. Post-hoc: Bonferroni.

Tal como se observa en la Tabla 2, los valores de glucosa en sangre en la fase final de la prueba sobre tapiz rodante son significativamente más altos que los valores basales ($p < 0,001$). En la fase de recuperación los valores de glucosa sanguínea son similares a los obtenidos al final de la prueba.

En la Tabla 3 se muestran los valores de glucosa en sangre en reposo, al final de la prueba en cicloergómetro y a los cinco minutos del período de recuperación.

Tabla 3.

Glucosa en sangre durante una prueba de ejercicio cardiopulmonar máxima en cicloergómetro.

Variable	Cicloergómetro (n=29)	Valor-p
Basal (mg/dl)	95,2 (12,9)	Basal vs Final 0,008*
Final (mg/dl)	110,8 (24,0)	
Recuperación (mg/dl)	117,6 (18,9)	Final vs Recuperación 0,201

Nota: los datos se expresan como media (desviación estándar). Los datos de recuperación se obtuvieron durante los primeros cinco minutos. *Diferencia significativa entre grupos $p < 0,05$. Post-hoc: Bonferroni.

Los resultados en la Tabla 3 muestran diferencias significativas en los valores de glucosa en sangre entre la fase final y basal de la prueba máxima en cicloergómetro ($p = 0,008$).

El valor medio del QR de los participantes que realizaron el test en cicloergómetro fue significativamente mayor que el grupo que lo hizo sobre tapiz rodante ($p > 0,001$).

En la fase de recuperación los valores de glucosa sanguínea son similares a los obtenidos al final de la prueba.

Diferencias de glucosa en sangre entre tapiz rodante y cicloergómetro

Se analizaron las diferencias de glucosa en sangre entre ambas modalidades de ejercicio antes, al final y en la recuperación del ejercicio (Tabla 4).

Tabla 4.

Diferencias de glucosa en sangre entre tapiz rodante y cicloergómetro.

Variable	Total (n=59)	Tapiz rodante (n=30)	Cicloergómetro (n=29)	Valor-p
Basal (mg/dl)	98,4 (12,2)	100,7 (11,2)	95,2 (12,9)	0,082
Final (mg/dl)	126,3 (28,3)	137,6 (26,0)	110,8 (24,0)	< 0,001*
Recuperación (mg/dl)	129,8 (22,5)	138,7 (20,8)	117,6 (18,9)	< 0,001*

Nota: los datos se expresan como media (desviación estándar). Los datos de recuperación se obtuvieron durante los primeros cinco minutos. *Diferencia significativa entre grupos $p < 0,05$. Post-hoc: Bonferroni.

Antes de comenzar la prueba, la glucemia era similar entre ambos grupos. Al finalizar la prueba y durante los primeros cinco minutos de recuperación, la glucemia en la PECP en tapiz rodante fue significativamente mayor que la glucemia en la PECP en cicloergómetro ($p < 0,001$).

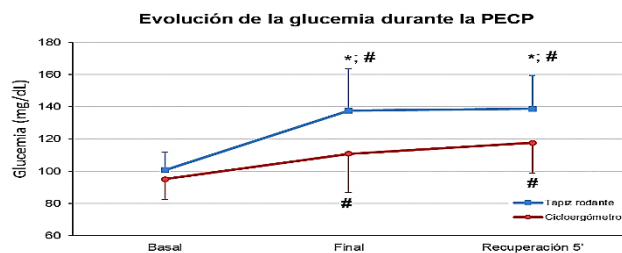


Figura 1. Diferencias de glucemia entre las pruebas en tapiz rodante y cicloergómetro. Nota: Los resultados se representan como media \pm desviación estándar. Se aplicó la prueba de medidas repetidas para ver diferencias significativas entre los grupos. Post-hoc: prueba de Bonferroni. *Diferencia significativa entre grupos ($p < 0,05$). # Diferencia significativa entre valores basales vs final y basal vs recuperación 5' ($p < 0,05$).

Evaluación de lactato en sangre durante cada prueba de ejercicio cardiopulmonar

La Tabla 5 presenta los valores medios de lactato en sangre (mg/dl) durante cada fase de la prueba en tapiz rodante. Se encontraron diferencias significativas entre los valores medios al inicio y al final de la prueba en tapiz rodante ($p < 0,001$).

Tabla 5.

Lactato en sangre durante una prueba de esfuerzo cardiopulmonar máxima en tapiz rodante.

Variable	Tapiz rodante (n=30)	Valor-p
Basal (mmol/L)	1,35 (0,56)	Basal vs Final < 0,001*
Final (mmol/L)	7,87 (2,62)	Final vs Recuperación 1
Recuperación (mmol/L)	7,71 (2,72)	

Nota: los datos se expresan como media (desviación estándar). Los datos de recuperación se obtuvieron durante los primeros cinco minutos. *Diferencia significativa entre grupos $p < 0,05$. Post-hoc: Bonferroni.

En la Tabla 6 se puede observar que existe una diferencia significativa en el lactato sanguíneo entre el final y el período de recuperación del PECP en el cicloergómetro ($p < 0,001$).

Tabla 6.

Lactato en sangre durante una prueba de esfuerzo cardiopulmonar máxima en cicloergómetro.

Variable	Cicloergómetro (n=29)	Valor-p
Basal (mmol/L)	1,24 (0,57)	Basal vs Final < 0,001*
Final (mmol/L)	9,28 (2,38)	Final vs Recuperación 0,102
Recuperación (mmol/L)	8,39 (2,57)	

Nota: los datos se expresan como media (desviación estándar). Los datos de recuperación se obtuvieron durante los primeros cinco minutos. *Diferencia significativa entre grupos $p < 0,05$. Post-hoc: Bonferroni.

Diferencias de lactato en sangre entre el tapiz rodante y cicloergómetro

Se analizaron las diferencias de lactato sanguíneo entre ambas modalidades de ejercicio en cada fase del test (Tabla 7).

Tabla 7.

Diferencias de lactato en sangre entre el tapiz rodante y cicloergómetro.

Variable	Total (n=59)	Tapiz rodante (n=30)	Cicloergómetro (n=29)	Valor-p
Basal (mmol/L)	1,31 (0,56)	1,35 (0,56)	1,24 (0,57)	0,438
Final (mmol/L)	8,47 (2,60)	7,87 (2,62)	9,28 (2,38)	0,039*
Recuperación (mmol/L)	7,99 (2,66)	7,71 (2,72)	8,39 (2,57)	0,335

Nota: los datos se expresan como media (desviación estándar). Los datos de recuperación se obtuvieron durante los primeros cinco minutos. *Diferencia significativa entre grupos $p < 0,05$. Post-hoc: Bonferroni.

Antes de comenzar la prueba, el lactato en sangre era similar entre el grupo de tapiz rodante y el cicloergómetro. Al final de la prueba, el lactato en sangre durante el CPET en cicloergómetro fue significativamente más alto que el lactato en sangre durante el CPET en tapiz rodante ($p = 0,039$). Después de cinco minutos posteriores al ejercicio, no se observó diferencia entre los grupos para el lactato en sangre.

Evolución del lactato durante la PECP

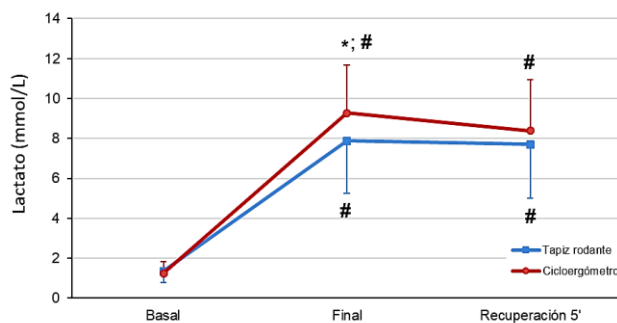


Figura 2. Evolución del lactato en sangre entre las pruebas en tapiz rodante y cicloergómetro. Los resultados se representan como media \pm desviación estándar. Se aplicó una prueba de medidas repetidas para ver diferencias significativas entre los grupos. Post-hoc: prueba de Bonferroni. *Diferencia significativa entre grupos ($p < 0,05$). # Diferencia significativa entre valores basales vs final y basal vs recuperación 5' ($p < 0,05$).

Discusión

En este estudio, se investigó y comparó los valores de glucemia y lactato en sangre durante pruebas de esfuerzo máximo en tapiz rodante y cicloergómetro en triatletas amateurs de edad y niveles de entrenamiento similares. Los participantes de ambos grupos presentaban características antropométricas (peso, altura, masa libre de grasa, masa grasa) y de capacidad cardiorrespiratoria similares. Sin embargo, al finalizar las pruebas de esfuerzo máximo, se encontraron diferencias en los niveles de glucosa y lactato en sangre, lo que nos indica que la elección de la modalidad de ejercicio podría tener un impacto significativo en la respuesta metabólica y fisiológica. Por ello, consideramos necesaria la adecuada selección de la intensidad y modalidad del ejercicio al diseñar programas de entrenamiento y al abordar cuestiones metabólicas en deportistas amateurs.

Al inicio de las pruebas de esfuerzo, los valores de glucemia en sangre fueron similares en ambos grupos. Sin embargo, al finalizar los tests máximos, los valores de glucosa en sangre fueron significativamente mayores en aquellos que realizaron la prueba en tapiz rodante. Esta diferencia se mantuvo durante los primeros 5 minutos de recuperación.

Estudios previos que investigaron las diferencias en el metabolismo de la glucosa, también observaron mayores valores de glucosa en sangre en corredores versus ciclistas (Arkinstall et al., 2001). Estos autores encontraron que los niveles de glucosa en sangre durante pruebas submáximas de carrera eran mayores que al realizar las pruebas en cicloergómetro. Esto podría estar relacionado con las demandas energéticas específicas de cada modalidad de ejercicio y con el tamaño relativo de los grupos musculares involucrados en la actividad.

Con respecto a la diferencia de glucemia durante cada modalidad de PECP, planteamos la hipótesis que la gluco-genólisis hepática aumentada podría ser la causante de valores más elevados al finalizar la prueba en el tapiz rodante. La carrera implica la activación de una mayor cantidad de masa en comparación con el ciclismo, esto permitirá una mayor captación de glucosa sanguínea por parte de los

músculos para usar CHO como fuente de energía. Esto, generaría la secreción de glucagón por parte de las células α del islote pancreático, aumentando la glucogenólisis hepática y los niveles de esta en sangre (Colberg et al., 2010). La mayor masa muscular involucrada durante la carrera, y el hecho de tratarse de pruebas de esfuerzo máximas, provoca una mayor demanda y utilización de glucosa en esta modalidad de ejercicio.

Además, la activación del sistema nervioso simpático durante el ejercicio máximo también juega un papel en la regulación de los niveles de glucosa. La estimulación simpática favorece la liberación de catecolaminas como la adrenalina, que a su vez estimulan la glucogenólisis y reducen la secreción de insulina, lo que contribuye a una mayor disponibilidad de glucosa en sangre (Alghannam et al., 2021).

En el presente estudio observamos un aumento significativo en los niveles de lactato al finalizar la prueba en tapiz rodante en comparación con los valores basales. Este incremento es esperado, ya que a medida que el ejercicio progresa y se alcanza la intensidad máxima, el cuerpo depende más de la glucólisis citosólica, lo que aumenta la producción de lactato (Vavříčka et al., 2024). El lactato final promedio de 7,87 mmol/L sugiere una alta dependencia de este metabolismo anaeróbico en las etapas finales del esfuerzo.

Durante la prueba de esfuerzo en cicloergómetro, los niveles de lactato también aumentaron significativamente desde los valores basales hasta el final de la prueba, alcanzando un promedio de 9,28 mmol/L, que es más alto que en el tapiz rodante. Este hallazgo es consistente con estudios previos que sugieren que el cicloergómetro tiende a producir mayores concentraciones de lactato debido a la especificidad del ejercicio y al reclutamiento muscular más localizado en las piernas, lo que incrementa la obtención de energía mediante la glucólisis citosólica y, como consecuencia, aumentando la acumulación de lactato (Millet et al., 2009; Pfeiffer et al., 2011).

La comparación directa entre ambas modalidades de ejercicio, nos permitió observar que los valores basales de lactato fueron similares entre los dos grupos. Sin embargo, los niveles de lactato al final de la prueba en cicloergómetro fueron significativamente más altos que en el tapiz rodante. Este hallazgo puede estar relacionado con la naturaleza más estática de la prueba en cicloergómetro, la mayor especificidad muscular del ciclismo, que implica un mayor estrés localizado en los músculos del tren inferior y un menor uso de músculos accesorios en comparación con la carrera, donde hay mayor participación de los músculos de la parte superior del cuerpo y del tronco, por lo tanto, mejores posibilidades de distribuir y aclarar el lactato producido.

La diferencia en la respuesta de glucosa y lactato entre las modalidades de ejercicio podría explicarse por la mayor masa muscular involucrada en la carrera, lo que aumenta la demanda energética y la captación de glucosa. Además, la mayor glucemia observada en la prueba de tapiz rodante, junto con el menor lactato en sangre en comparación con el cicloergómetro, sugiere una mayor actividad hepática permitiendo la liberar mayores cantidades de glucosa a través de

la glucogenólisis y la posible gluconeogénesis a partir del lactato (Ciclo de Cori) durante la carrera.

Se ha demostrado que tanto el cociente respiratorio como la concentración de lactato en sangre son similares en pruebas de ciclismo y carrera en hombres adultos físicamente activos, lo que sugiere que las demandas metabólicas de ambas modalidades son comparables en términos de utilización de sustratos energéticos a cargas submáximas (Millet et al., 2009). Sin embargo, la evidencia en torno al VO_2 máx, uno de los indicadores clave de la capacidad cardiorrespiratoria, es más variable entre estudios y modalidades de ejercicio.

Por ejemplo, algunos autores encontraron que los corredores tienden a alcanzar valores de VO_2 máx significativamente mayores en comparación con los ciclistas, lo que podría deberse a la mayor cantidad de masa muscular involucrada durante la carrera, lo que incrementa la demanda de oxígeno (Wiecha et al., 2023). Además, en PECPs realizadas en tapiz rodante, se ha observado que triatletas de nivel nacional alcanzan mayores valores de VO_2 máx en comparación con pruebas realizadas en cicloergómetro, lo que respalda la hipótesis de que la carrera involucra una mayor cantidad de grupos musculares, particularmente de la parte superior del cuerpo, contribuyendo a un mayor consumo de oxígeno (Schabert et al., 2000; Scott et al., 2006).

Por otro lado, los autores de un estudio en el que participaron triatletas bien entrenados reportaron resultados opuestos, observando que el VO_2 máx fue significativamente más alto durante una PECP realizada en cicloergómetro que en tapiz rodante (Hue et al., 1997). Este hallazgo podría estar relacionado con la especificidad del entrenamiento, ya que los triatletas acostumbrados al ciclismo podrían mostrar una mayor eficiencia en esta modalidad, optimizando su rendimiento aeróbico durante el ejercicio en cicloergómetro.

Limitaciones

El presente estudio presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas. En primer lugar, es importante mencionar que la dieta no fue uniforme entre los participantes, en la cena y en el desayuno antes de la prueba. En segundo lugar, no se midieron las concentraciones de hormonas como la insulina y las catecolaminas, lo que podría haber proporcionado información adicional sobre los mecanismos subyacentes a las diferencias observadas entre modalidades deportivas.

Finalmente, el lactato en sangre es un marcador cuestionable en la cuantificación de la resíntesis glucolítica rápida de ATP porque es un metabolito dinámico que se produce y elimina a diferentes velocidades. También se ha demostrado que las concentraciones de lactato en los músculos y/o la sangre pueden ser muy variables en y entre sujetos (Scott et al., 2006). Para ser más exactos sobre las posibles variaciones en la producción de lactato, sería importante determinar la proporción de fibras musculares rápidas y lentas de los participantes.

Conclusiones

A partir de nuestros resultados, podemos observar que existen diferencias en el metabolismo de la glucosa y el lactato en la carrera y el ciclismo. Los valores de glucosa en sangre fueron significativamente mayores al final de la prueba en tapiz rodante y a los 5 minutos post esfuerzo en comparación a la prueba en cicloergómetro. Por otro lado, al finalizar la prueba en cicloergómetro, se obtuvieron valores de lactato en sangre superiores, lo que se relaciona con la menor cantidad de masa muscular involucrada durante esta prueba máxima. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para el diseño de programas de entrenamiento y la comprensión de las adaptaciones metabólicas al ejercicio en diferentes modalidades.

Referencias

- Alghannam, A. F., Ghaith, M. M., & Alhussain, M. H. (2021). Regulation of energy substrate metabolism in endurance exercise. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*, 4963. <https://doi.org/10.3390/ijerph18094963>
- Arkininstall, M. J., Bruce, C. R., Nikolopoulos, V., Garnham, A. P., & Hawley, J. A. (2001). Effect of carbohydrate ingestion on metabolism during running and cycling. *Journal of Applied Physiology*, *91*(5), 2125–2134. <https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.5.2125>
- Basset, F. A., & Boulay, M. R. (2000). Specificity of treadmill and cycle ergometer tests in triathletes, runners and cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, *81*(3), 214–221. <https://doi.org/10.1007/S004210050033>
- Bijker, K. E., de Groot, G., & Hollander, A. P. (2002). Differences in leg muscle activity during running and cycling in humans. *European Journal of Applied Physiology*, *87*(6), 556–561. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0663-8>
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *14*(5), 377–381.
- Brooks, G. A. (2020). The precious few grams of glucose during exercise. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(16), 5733. <https://doi.org/10.3390/ijms21165733>
- Brooks, G. A., Arevalo, J. A., Osmond, A. D., Leija, R. G., Curl, C. C., & Tovar, A. P. (2022). Lactate in contemporary biology: a phoenix risen. *Journal of Physiology*, *600*(5), 1229–1251. <https://doi.org/10.1113/JP280955>
- Brooks, G. A., Curl, C. C., Leija, R. G., Osmond, A. D., Duong, J. J., & Arevalo, J. A. (2022). Tracing the lactate shuttle to the mitochondrial reticulum. *Experimental and Molecular Medicine*, *54*(9), 1332–1347. <https://doi.org/10.1038/s12276-022-00802-3>
- Brooks, G. A., Osmond, A. D., Leija, R. G., Curl, C. C., Arevalo, J. A., Duong, J. J., & Horning, M. A. (2022). The blood lactate/pyruvate equilibrium affair. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, *322*(1), E34–E43. <https://doi.org/10.1152/AJPENDO.00270.2021>
- Burke, L. M., Whitfield, J., Heikura, I. A., Ross, M. L. R., Tee, N., Forbes, S. F., Hall, R., McKay, A. K. A., Walleit, A. M., & Sharma, A. P. (2021). Adaptation to a low carbohydrate high fat diet is rapid but impairs endurance exercise metabolism and performance despite enhanced glycogen availability. *Journal of Physiology*, *599*(3), 771–790. <https://doi.org/10.1113/JP280221>
- Capostagno, B., & Bosch, A. (2010). Higher fat oxidation in running than cycling at the same exercise intensities. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *20*(1), 44–55. <https://doi.org/10.1123/ijnsnem.20.1.44>
- Carter, H., Jones, A. M., Barstow, T. J., Burnley, M., Williams, C. A., & Doust, J. H. (2000). Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: A comparison. *Journal of Applied Physiology*, *89*(3), 899–907. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.3.899>
- Cejuela, R. S.-P. S. (2023). Training characteristics and performance of two male elite short-distance triathletes: From junior to “world-class.” *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *33*(september 2016), 2444–2456.
- Colberg, S. R., Sigal, R. J., Fernhall, B., Regensteiner, J. G., Blissmer, B. J., Rubin, R. R., Chasan-Taber, L., Albright, A. L., & Braun, B. (2010). Exercise and type 2 diabetes: the American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement. *Diabetes Care*, *33*(12), e147-67. <https://doi.org/10.2337/dc10-9990>
- Ferguson, B. S., Rogatzki, M. J., Goodwin, M. L., Kane, D. A., Rightmire, Z., Gladden, L. B., Matthew, ·, Goodwin, L., & Gladden, · L Bruce. (2018). Lactate metabolism: historical context, prior misinterpretations, and current understanding. *European Journal of Applied Physiology*, *118*, 691–728.
- Fernández Vieitez, J. A., & Ricardo Aguilera, R. (2001). Estimación de la masa muscular por diferentes ecuaciones antropométricas en levantadores de pesas de alto nivel. *Archivos de Medicina Del Deporte*, *18*(86), 585–591.
- Flores-Opazo, M., McGee, S. L., & Hargreaves, M. (2020). Exercise and GLUT4. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *48*(3), 110–118. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000224>
- Hargreaves, M., & Spriet, L. L. (2020). Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature Metabolism*, *2*(9), 817–828. <https://doi.org/10.1038/s42255-020-0251-4>
- Hearris, M. A., Hammond, K. M., Fell, J. M., & Morton, J. P. (2018). Regulation of muscle glycogen metabolism during exercise: Implications for endurance performance and training adaptations. *Nutrients*, *10*(3), 298. <https://doi.org/10.3390/nu10030298>
- Hue, O., Le Gallais, D., Chollet, D., Boussana, A., & Préfaut, C. (1997). The influence of prior cycling on biomechanical and cardiorespiratory response profiles during running in triathletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *77*(1–2), 98–105. <https://doi.org/10.1007/s004210050306>
- Jeukendrup, A. E., Wagenmakers, A. J. M., Stegen, J. H. C. H., Gijsen, A. P., Brouns, F., & Saris, W. H. M. (1999). Carbohydrate ingestion can completely suppress endogenous glucose production during exercise. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, *276*(4 39-4). <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1999.276.4.e672>
- King, A. J., O’Hara, J. P., Morrison, D. J., Preston, T., & King, R. F. G. J. (2018). Carbohydrate dose influences liver and muscle glycogen oxidation and performance during prolonged exercise. *Physiological Reports*, *6*(1), e13555. <https://doi.org/10.14814/phy2.13555>
- Lawrence, J. H., & Gofman, J. W. (Eds.). (2013). *Advances in Biological and Medical Physics: Volume 9*.

- Mallol, M., Cámara, J., Calleja-González, J., Yanci, J., & Mejuto, G. (2015). Triathlon and control the load by perceived exertion | El Triatlón y el control de la carga mediante la percepción del esfuerzo. *Archivos de Medicina Del Deporte*, 32(3), 164–168.
- Malone, J. J., Hulton, A. T., & MacLaren, D. P. M. (2021). Exogenous carbohydrate and regulation of muscle carbohydrate utilisation during exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 121(5), 1255–1269. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04609-4>
- Marliss, E. B., & Vranic, M. (2002). Intense exercise has unique effects on both insulin release and its role in glucoregulation: implications for diabetes. *Diabetes*, 51(1), 271–283. <https://doi.org/10.2337/diabetes.51.2007.S271>
- Millet, G. P., Vleck, V. E., & Bentley, D. J. (2009). Physiological differences between cycling and running: lessons from triathletes. *Sports Medicine*, 39(3), 179–206. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939030-00002>
- Millet, G. P., Vleck, V. E., & Bentley, D. J. (2011). Physiological requirements in triathlon. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6(2), 184–204. <https://doi.org/10.4100/jhse.2011.62.01>
- Muros, J. J., Knox, E., Hinojosa-Nogueira, D., Rufián-Henares, J., & Zabala, M. (2021). Profiles for identifying problematic dietary habits in a sample of recreational Spanish cyclists and triathletes. *Scientific Reports*, 11(1), 15193. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94660-0>
- Pfeiffer, B., Stellingwerff, T., Zaltas, E., Hodgson, A. B., & Jeukendrup, A. E. (2011). Carbohydrate Oxidation from a Drink during Running Compared with Cycling Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(2), 327–334. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ebc488>
- Podlogar, T., & Wallis, G. A. (2022). New Horizons in Carbohydrate Research and Application for Endurance Athletes. *Sports Medicine*, 52(s1), 5–23. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01757-1>
- Schabert, E. J., Killian, S. C., St Clair Gibson, A., Hawley, J. A., & Noakes, T. D. (2000). Prediction of triathlon race time from laboratory testing in national triathletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(4), 844–849. <https://doi.org/10.1097/00005768-200004000-00018>
- Scott, C. B., Littlefield, N. D., Chason, J. D., Bunker, M. P., & Asselin, E. M. (2006). Differences in oxygen uptake but equivalent energy expenditure between a brief bout of cycling and running. *Nutrition and Metabolism*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-3-1>
- Stewart, J. A., Merritt, E. K., Lidstone, D. E., McBride, J. M., & Zwetsloot, K. A. (2022). Prolonged cycling lowers subsequent running mechanical efficiency in collegiate triathletes. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 14(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s13102-022-00543-w>
- Tsintzas, K., & Williams, C. (1998). Human muscle glycogen metabolism during exercise - Effect of carbohydrate supplementation. *Sports Medicine*, 25(1), 7–23. <https://doi.org/10.2165/00007256-199825010-00002>
- Vavříčka, J., Brož, P., Follprecht, D., Novák, J., & Kroužek, A. (2024). Modern Perspective of Lactate Metabolism. *Physiological Research*, 73(4), 499–514. <https://doi.org/10.33549/physiolres.935331>
- Wiecha, S., Kasiak, P. S., Szwed, P., Kowalski, T., Cieśliński, I., Postuła, M., & Klusiewicz, A. (2023). VO2max prediction based on submaximal cardiorespiratory relationships and body composition in male runners and cyclists: a population study. *ELife*, 12, e86291. <https://doi.org/10.7554/eLife.86291>
- World Conference on Kinanthropometry Chile, 2018. (2019). *Ciencias del Ejercicio Físico y Salud*, n°1.
- World Medical Association. (2013). World medical association declaration of Helsinki. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>

Datos de los/as autores/as:

Jonathan Galán Carracedo
 Albert Vivet Comas
 María Soledad García
 Oscar A. Niño Méndez
 July C. Melo Tavera
 Andrea Suárez Segade
 Guillermo R. Oviedo

jonathangc@blanquerna.url.edu
 albertvc2@blanquerna.url.edu
 garciasole2@gmail.com
 oanino@ucundinamarca.edu.co
 ju.melo2202@gmail.com
 andreaarezsegade@gmail.com
 gro16@msstate.edu

Autor/a
 Autor/a
 Autor/a
 Autor/a
 Autor/a
 Autor/a
 Autor/a