



Fecha de recepción: septiembre 1 de 2021  
Fecha de aceptación: septiembre 16 de 2021

ARTÍCULO ORIGINAL

<https://dx.doi.org/10.14482/sun.38.1.612.34>

## El efecto del tipo de acondicionamiento físico sobre la insulina y glucosa en las distintas fases del ejercicio

*The effect of aerobic and anaerobic physical conditioning on insulin and glucose during exercise*

LUZ MARINA UMBARILA ESPINOSA<sup>1</sup>, JUAN CAMILO CEDEÑO SERNA<sup>2</sup>,  
SANTIAGO CORTÉS FERNÁNDEZ<sup>3</sup>, DANIEL ALFONSO BOTERO ROSAS<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Licenciada en Educación básica con énfasis en Física Recreación y Deportes, Universidad de Pamplona; maestría en Ciencias y Tecnologías del Deporte y la Actividad Física, Universidad Manuela Beltrán. Coordinadora académica Facultad de Educación Física Militar Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”. Bogotá. Colombia. Luz.umbarila@esmic.edu.co. lmarinaumbaes@hotmail.com . Orcid :<https://orcid.org/signin>): <https://orcid.org/0000-0001-8312-4436>. CVLAC: [https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculo-Cv.do?cod\\_rh=0001527223](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculo-Cv.do?cod_rh=0001527223).

<sup>2</sup> Medicina, Universidad de la Sabana, Reserch fellow,interventional pulmonology at BIDMC-Harvard medical School. [juankcserna@gmail.com](mailto:juankcserna@gmail.com) , [jcedenos@bidmc.harvard.edu](mailto:jcedenos@bidmc.harvard.edu). Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6913-4993>.

<sup>3</sup> Mayor del Ejército Nacional. Licenciado en Educación Física, Universidad Pedagógica Nacional. Maestría en Ciencias y Tecnologías del Deporte y la Actividad Física, Universidad Manuela Beltrán. Oficial de Estudios de la Escuela de Soldados Profesionales “Pedro Pascasio Martínez Rojas”. [sacofe@hotmail.com](mailto:sacofe@hotmail.com). [santiago.cortes@buzonejercito.mil.co](mailto:santiago.cortes@buzonejercito.mil.co), orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5189-9325>, f). CVLAC: [https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculo-Cv.do?cod\\_rh=0001196138](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculo-Cv.do?cod_rh=0001196138).

<sup>4</sup> Medicina, Escuela Colombiana de Medicina; magíster y Ph.D. en Ingeniería Biomédica, Profesor Asociado Universidad de la Sabana, daniel.botero@unisabana.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2590-0756>, f). CVLAC: [https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0000980056](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000980056).

**Correspondencia:** Luz Marina Umbarila Espinosa Luz.umbarila@esmic.edu.co. lmarinaumbaes@hotmail.com .

## RESUMEN

**Objetivo:** Describir el comportamiento de la glucosa y la insulina durante las etapas del ejercicio en atletas acondicionados en ejercicio aeróbico y anaeróbico.

**Materiales y métodos:** En un estudio cuasiexperimental de corte transversal se compararon la glucosa e insulina de 6 atletas anaeróbicos y 10 aeróbicos durante el reposo, ejercicio de moderada - alta intensidad y la recuperación. Se eligió un valor p de  $<0.05$ , se encontró distribución no-normal y se utilizaron pruebas no paramétricas y modelos de regresión lineal.

**Resultados:** El ejercicio moderado llevó a hipoinsulinemia, y el intenso a hiperinsulinemia e hiperglicemia. No encontramos diferencias entre los dos tipos de atletas.

**Conclusiones:** El comportamiento del sistema nervioso autónomo afectaría el balance glucoenergético corporal durante el ejercicio aún más que la insulina, con variaciones dependiendo del tipo de entrenamiento, pero es necesario realizar estudios adicionales para evaluar esta relación.

**Palabras clave:** insulina, glucosa, hipoxia, ejercicio, aeróbico, anaeróbico, deportistas.

## ABSTRACT

**Objective:** Describe glucose and insulin behavior at the different phases of exercise in aerobic and anaerobic athletes.

**Materials and methods:** Glucose and insulin from 6 anaerobic and 10 aerobic athletes were compared during rest, moderate-high intensity exercise, and recovery. Statistical analysis was performed to evaluate insulin and glucose behavior, and differences between aerobic aerobic and anaerobic-trained individuals. A p value of  $<0.05$  was set. A non-normal distribution was found, non-parametric tests and multivariate analysis were performed.

**Results:** Moderate exercise led to hypoinsulinemia, whereas intense exercise caused hyperinsulinemia and hyperglycemia. No differences were found between the 2 groups.

**Conclusions:** Autonomic nervous system behavior may play a role in the glucoenergetic balance that could overcome insulin effect, and it could vary depending on the type of exercise regimen but further evaluation is necessary to confirm these findings

**Keywords:** insulin, glucose, hypoxia, exercise, aerobic, anaerobic, athletes.

## INTRODUCCIÓN

Mantener un adecuado balance energético es de suma importancia durante la actividad física, pues influye de manera significativa en el rendimiento de los atletas de altos logros y alto rendimiento. Así, los niveles de glucosa han probado afectar la resistencia física, fuerza y percepción de la fatiga tanto en ejercicio aeróbico como anaeróbico (1,2). Un adecuado control glicémico cambia de manera notoria la capacidad adaptativa del deportista (3), su metabolismo (4) e Incluso las pequeñas variaciones de la glucosa llegan a afectar la contracción muscular durante rutinas prolongadas e intensas. (5) La manera en la que funciona este balance energético durante la actividad física, difiere significativamente con respecto al funcionamiento en reposo, pues existen variables adicionales que interactúan entre sí con el fin de mantener un suministro energético adecuado en respuesta estrés, llevando variaciones en los ciclos metabólicos, como la activación de la glucólisis anaeróbica, a variaciones hormonales y en modificaciones locales tisulares. A su vez, estas interacciones se ven afectadas por características propias del sujeto como la edad (6)), la dieta (7) la composición física (8) y el tipo de acondicionamiento físico (9). Con respecto al último factor mencionado, el tipo de ejercicio realizado por el paciente, aeróbico o anaeróbico, puede influir en el balance glucoenergético. El ejercicio aeróbico, a largo plazo y en individuos sanos, ha demostrado asociarse a un aumento en la sensibilidad basal a la insulina, una disminución en el uso de carbohidratos con un aumento en la oxidación de ácidos grasos, una utilización más lenta del glucógeno tisular e insulinemias más bajas en comparación a individuos no entrenados (10) y en diabéticos se ha demostrado que una combinación de ejercicio físico aeróbico de moderada intensidad (MICT por sus siglas en inglés) y de resistencia mayor de 150 minutos a la semana reduce la tolerancia a la glucosa, presenta beneficios significativos en el control glicémico (11) y reduce la insulina a nivel sanguíneo en muestras tomadas una vez se ha finalizado la actividad física (12). En contraste con lo mencionado, la información disponible con respecto a la variación de los niveles de insulina en individuos sanos que han sido acondicionados a un ejercicio anaeróbico es controversial y la gran mayoría de estudios se han centrado en el efecto a largo plazo,

particularmente el ejercicio de intervalos de alta intensidad (HIIT por sus siglas en inglés), en condiciones patológicas como el síndrome metabólico y diabetes mellitus tipo 2. En pacientes con alteraciones del metabolismo de carbohidratos, una sola sesión de HIIT puede mejorar las mediciones de glicemia postprandial y llevar a una disminución en los niveles de insulina durante 24 horas después del ejercicio, y las sesiones repetidas de HIIT se relacionan con una menor glicemia en ayunas.(9,13) Los niveles de glucosa e insulina también varían durante el ejercicio dependiendo de la intensidad de la actividad que se esté realizando, se acepta que un ejercicio de moderada intensidad se relaciona a niveles de insulina más bajos, y el de alta intensidad lleva a picos de glucosa e insulina que disminuyen una vez el paciente cesa el ejercicio. Sin embargo, la información sobre cómo el acondicionamiento físico puede influir en la variación de estos marcadores de manera aguda, e indirectamente en el rendimiento deportivo, es escasa, y tampoco se ha descrito a detalle la manera en la cual la fisiología podría modificarse en dicha condición (14–16), por lo cual el objetivo de este estudio fue evaluar cómo el acondicionamiento en ejercicio aeróbico y anaeróbico influye en el comportamiento del balance glucoenergético a través de los diferentes momentos del ejercicio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un estudio un estudio cuasiexperimental de corte transversal y observacional, que fue aprobado previamente por el Comité de Ética de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” (ESMIC en adelante) n.º acta 4363. Cada uno de los sujetos dio su aprobación por medio de un consentimiento informado antes de participar. Se incluyeron hombres y mujeres de 18 a 24 años de edad, que llevasen más de dos años practicando el mismo deporte, que hubiesen demostrado tener un adecuado estado de salud en evaluaciones previas y que se encontraran en ayuno al momento de realizar el experimento. Por lo contrario, se excluyeron aquellos individuos que contaran con patologías previas que evitasen la realización de las pruebas de ergoespirometría, condiciones que alteraran los resultados de los exámenes de sangre, sujetos que hubiesen presentado lesiones musculoesqueléticas en los últimos 3 meses, que hubiesen realizado actividad física vigorosa dos horas antes o que hubiesen consumido café, cigarrillo o cualquier otra sustancia 24 horas antes del experimento.

Se reclutaron inicialmente 30 atletas de altos logros del equipo de atletismo de la ESMIC y 14 fueron excluidos por criterios de inclusión y exclusión. Se incluyeron 16 atletas; 6 sujetos habían

sido sometidos a entrenamiento anaeróbico de velocidad mientras, 10 sujetos fueron entrenados con ejercicio aeróbico de fondo.

## Protocolo del experimento

Una vez se obtiene el consentimiento informado, los individuos son sometidos a una valoración médica para establecer los mismos criterios de inclusión y exclusión, luego la población accede a las pruebas de bioimpedancia eléctrica para obtener valores del peso, porcentaje de grasa corporal, porcentaje de masa muscular e hidratación. Posterior a esto se realizó la colocación del catéter venoso periférico en el dorso de la mano derecha por estándar. A continuación, se inició la verificación de la frecuencia cardíaca en reposo y la variabilidad de la frecuencia cardíaca usando un monitor polar V800<sup>®</sup>. Luego se procede a aplicar la prueba submáxima en cicloergómetro, también conocida como la Prueba de Söstrand Modificada, en la cual los sujetos se posicionan en un cicloergómetro y se les solicita que realicen 3 minutos de calentamiento sin resistencia, seguidos de una resistencia/carga ergométrica de 0.5 kilopascales mientras se mide su frecuencia cardíaca a través del monitor Polar<sup>®</sup>. Una vez pasados otros 3 minutos, las cargas se aumentan entre 1.5 a 2.5 Kpa, dependiendo de los valores de la frecuencia cardíaca, hasta llegar a un máximo total de 4 aumentos de la carga ergométrica. La prueba es finalizada una vez se alcanza un 75-85 % de la frecuencia cardíaca máxima, cuando la frecuencia cardíaca fluctúa entre 110 y 150 después de dos aumentos de la carga ergométrica, o cuando el paciente reporta signos o síntomas de respuestas inadecuadas durante el ejercicio(17).

## Análisis estadístico

Se llevó a cabo un análisis estadístico en el que se compararon los valores de glucosa (gr/dL) en atletas entrenados en ejercicio aeróbico y anaeróbico. Se eligió un valor P de <0.05 para rechazar la hipótesis nula. En una primera fase, las variables categóricas fueron analizadas usando frecuencias y las variables cuantitativas se analizaron usando medias. La normalidad se evaluó por medio del test de Shapiro-Wilks, evidenciando una distribución no normal, por lo cual en el análisis bi-variado se utilizaron pruebas no paramétricas (test de Mann-Whitney) y se prosiguió a realizar un análisis multivariado por medio de modelos de regresión logística para analizar los valores de los marcadores en los diferentes momentos de la prueba. Finalmente se realizó un análisis post-hoc para comparar la insulina y glucosa. Los resultados fueron ajustados por Bonferroni.

## RESULTADOS

La muestra estaba compuesta por 16 atletas de la escuela de cadetes José María Córdova, 5 mujeres y 11 hombres, 6 entrenados en ejercicio aeróbico y 10 en anaeróbico. La media de masa muscular, porcentaje de grasa corporal e IMC se encontraban dentro de parámetros normales (18) (tabla 1), y más importante aún, ninguna de estas variables alteró nuestro estudio de una manera estadísticamente significativa.

**Tabla 1. Características de la muestra**

Variable	Intervention (n: 16)
Género	
Femenino	5
Masculino	11
Características de la muestra	<b>Media</b>
peso (kg)	62.3
Porcentaje grasa (%)	13.3
Masa muscular (kg)	51.4
IMC	22.6
Masa ósea (%)	2.73

Se observan las características de la muestra obtenidas por impedanciometría. Se encontró que las características del grupo tenían una distribución uniforme entre sujetos.

Al momento de comparar los distintos momentos del ejercicio en ambos grupos se encontró que ninguno de los dos grupos tuvo variaciones notorias de sus niveles de glucosa en la transición entre el reposo al ejercicio moderado. Sin embargo, en el grupo de atletas aeróbicos se presentó un aumento estadísticamente significativo de la glicemia una vez fueron sometidos al ejercicio intenso, seguido de un descenso una vez entraron en la etapa de recuperación, lo cual contrasta con los hallazgos de los atletas anaeróbicos que no tuvieron cambios que denotaran significancia estadística en ninguna de las etapas (tabla 2a). Las variaciones de la insulina fueron más notorias en ambos grupos; inicialmente, los atletas aeróbicos, a diferencia de los anaeróbicos, no tuvieron

disminución marcada al pasar del reposo al ejercicio moderado, pero posteriormente ambos grupos presentaron un aumento de los niveles de insulina al llevar a cabo un ejercicio intenso, lo cual se vio acompañado de un descenso de la insulinemia durante la recuperación (tabla 2b).

**Tabla 2. Diferencias estimadas de los valores de glucosa e insulina entre los diferentes momentos del experimento**

Tabla 2 a. Glucosa				
Momentos del ejercicio	Atletas de ejercicio aeróbico		Atletas de ejercicio anaeróbico	
	Diferencia estimada	Valor de la p	Diferencia estimada	Valor de la p
<b>Reposo vs. moderado</b>	-5.530	0.5	-0.850	0.9
<b>Moderado vs. intenso</b>	-24.340	0.0001	-10.050	0.3
<b>Intenso vs. recuperación</b>	23.620	0.0001	5.533	0.6
Insulina 2b. Insulina				
	Diferencia estimada	Valor de la p	Diferencia estimada	Valor de la p
<b>Reposo vs. moderado</b>	2.680	0.2	6.480	0.01
<b>Moderado vs. intenso</b>	-6.165	0.01	-6.600	0.01
<b>Intenso vs. recuperación</b>	5.989	0.01	6.440	0.01

**Tabla 2a:** se observan las diferencias estimadas de los valores de glucosa. Se encontró significancia estadística ( $p < 0.05$ ) únicamente en los atletas aeróbicos en la transición de ejercicio moderado a ejercicio intenso y de ejercicio intenso a recuperación. **Tabla 2b:** se observan las diferencias estimadas para la Insulina, la cual no presentó cambios entre el reposo y el ejercicio moderado en atletas aeróbicos ( $p > 0.05$ ) pero sí en anaeróbicos, con un posterior descenso significativo en ambos grupos entre el ejercicio moderado e intenso y un ascenso durante la recuperación.

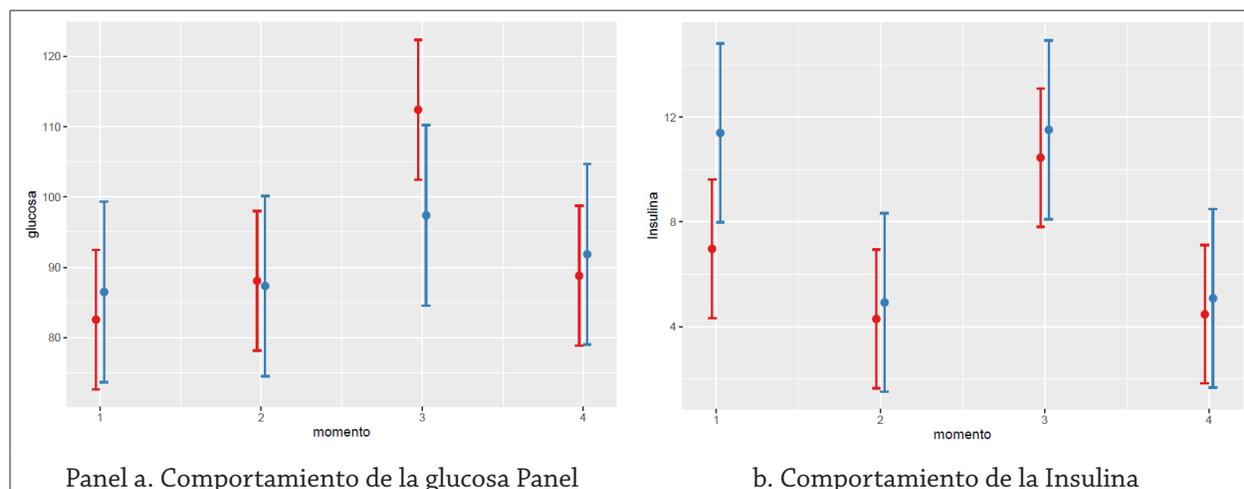
En la tabla 3 se observan los resultados de la comparación de los niveles de insulina y glucosa en ambos grupos durante los diferentes momentos de la prueba, siendo evidente que no hubo diferencia estadística en el comportamiento de ninguno de los dos marcadores al comparar los dos grupos.

**Tabla 3.** Comparación entre los valores de glucosa e insulina entre atletas aeróbicos y anaeróbicos en cada uno de los momentos del experimento

Momento del ejercicio	Diferencia de la glucosa entre atletas aeróbicos vs anaeróbicos		Diferencia de la insulina entre atletas aeróbicos vs anaeróbicos	
	Diferencia estimada	Valor de la p	Diferencia estimada	Valor de la p
<b>Reposo</b>	-3.943	0.8	-4.430	0.09
<b>Ejercicio moderado</b>	0.737	0.9	-0.630	0.9
<b>Ejercicio intenso</b>	15.027	0.2	-1.065	0.8
<b>Recuperación</b>	-3.060	0.9	-0.614	0.9

Se observan las diferencias entre los valores de glucosa durante el reposo, ejercicio moderado e intenso, y la recuperación, evidenciando una ausencia de significancia estadística en la comparación de los dos grupos ( $p > 0.05$ ) en todos los momentos, lo cual se replica al comparar los valores de la insulina.

En panel a de la figura 1 se describe el comportamiento de la glucosa en los diferentes momentos de la prueba y se realiza una comparación entre los dos grupos de atletas. Se observa cómo en ambos grupos la glicemia se mantuvo estable en la transición entre el reposo y el ejercicio moderado, pero entre el ejercicio moderado y el ejercicio intenso se presentó un pico en la glucosa, seguido de un descenso marcado en la recuperación, el cual logró significancia estadística en el grupo de atletas aeróbicos pero no en los atletas anaeróbicos. Por otra parte, en el panel b de la figura 1 observamos los cambios de la insulina, que cae por debajo de sus niveles basales en el ejercicio moderado en los atletas anaeróbicos, contrastando con el grupo aeróbico, que no presentó cambios. En la medida en la que el experimento progresó hacia el ejercicio intenso y al primer umbral ventilatorio, los niveles de insulina se elevaron en ambos grupos para después caer en la recuperación. Es importante destacar que a pesar de la variación mencionada, el comportamiento de la insulina fue similar entre los dos tipos de atletas.



Panel a. Se observa el comportamiento de la glucosa en gr/dL. Ninguno de los grupos tuvo un cambio significativo en la glicemia en la transición entre reposo (1) a ejercicio moderado (2), seguido de una elevación durante el ejercicio intenso (3) que solo fue significativa en los atletas aeróbicos y fue seguida por una disminución en ambos grupos en la recuperación (4). Panel b. Se observa el comportamiento de la insulina, que presenta una disminución importante al pasar del reposo (1) al ejercicio moderado (2), con un pico en el ejercicio intenso (3) y un descenso durante la recuperación (4), sin encontrar diferencias entre los dos grupos estudiado

### Imagen 1. Comportamiento de la glucosa y la insulina en los diferentes momentos

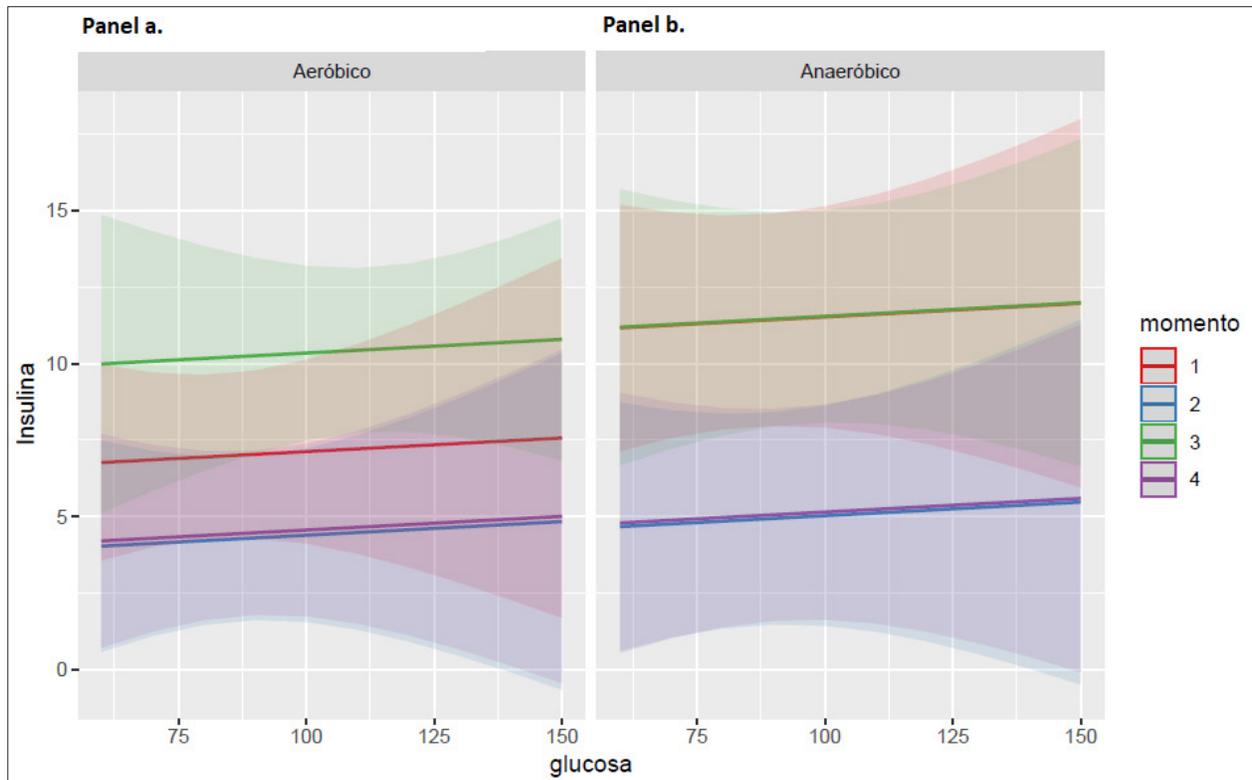
Cuando se compara el comportamiento de la glucosa con el comportamiento de insulina, no se encuentra una relación entre los valores predichos de ambos marcadores en ninguno de los momentos, como lo demuestran unos valores  $p > 0.05$  en todas las mediciones de acuerdo a lo indicado en la tabla 4.

**Tabla 4. Resultados de la comparación post-hoc entre la glucosa y la insulina en ambos grupos durante cada uno de los momentos del experimento**

Grupo evaluado	Valores P de la comparación del comportamiento de la glucosa vs lactato			
	reposo	Ejercicio moderado	Ejercicio intenso	recuperación
aeróbicos	0.07	0.10	0.11	0.13
anaeróbicos	0.82	0.17	0.26	0.16

En la tabla 4 se observan los valores P de la comparación del comportamiento de la glucosa y la insulina. Se encontró una ausencia de significancia estadística en todos los momentos dada por valores  $> 0.05$  en todos los momentos del experimento, por lo cual infiere que no hubo relación entre el comportamiento de ambos marcadores.

En concordancia con lo mencionado, en los paneles panel a y b de la imagen 2 se observa que los valores de insulina y glucosa se caracterizaron por un comportamiento independiente manifestado a través de una relación no lineal durante el experimento y una sobreposición de los valores predichos obtenidos en el análisis post-hoc.



Análisis post-hoc de los valores de insulina vs glucosa en atletas aeróbicos (panel a) y atletas anaeróbicos (panel b) durante los 4 momentos del experimento: reposo (1), ejercicio moderado (2), ejercicio intenso (3) y recuperación (4).

## Imagen 2. Valores predichos para la glucosa e insulina en deportistas aeróbicos y anaeróbicos

## DISCUSIÓN

En este estudio se encontraron variaciones de los niveles de insulina y glucosa en el ejercicio intenso sin variaciones en la transición del reposo al ejercicio moderado, pero no se logró encontrar diferencias entre estos valores entre los atletas entrenados en ejercicio aeróbico y anaeróbico. Por

otra parte, no se encontró una relación entre el comportamiento de la insulina y la glucosa durante ningún momento del experimento, lo cual expone la importancia de factores adicionales en el equilibrio glucoenergético durante el ejercicio.

El efecto que tiene el ejercicio en el comportamiento de la glucosa insulina a largo plazo ha sido ampliamente estudiado debido a la capacidad que tiene de reducir el riesgo de desarrollo y progresión de enfermedades cardiometabólicas (19,20), Sin embargo, existen menos estudios con respecto a cómo responden estos marcadores de manera aguda en condiciones de ejercicio de moderada y alta intensidad, y la mayoría de la información existente se concentra en describir el comportamiento de estos durante un momento específico y no durante las diferentes etapas de este. Por otra parte, la información existente sobre cómo puede influir el acondicionamiento físico en un tipo específico de ejercicio también es limitada, y la gran mayoría de información encontrada se enfocó en la comparación de pacientes no entrenados *versus* pacientes entrenados en ejercicio aeróbico o anaeróbico.

En esta investigación no se encontró diferencias significativas en los niveles de insulina de los atletas aeróbicos y anaeróbicos en reposo. Si bien se han reportado niveles de insulina sérica más bajos en atletas anaeróbicos, los efectos benéficos del ejercicio anaeróbico podrían relacionarse a un aumento de la sensibilidad a la insulina (21), más que a una variación en sus niveles. Esto concuerda con lo previamente descrito en la literatura. En el metaanálisis realizado por Jelleyman et al. se encontraron 19 estudios en los que se comparó los niveles de insulina en ejercicio anaeróbico (HIIT) con respecto a grupos control, y si bien hubo una reducción de  $-0.93 \mu\text{U L}^{-1}$  en los niveles de base de la insulina, no se encontró diferencias en la insulinemia entre el HIIT y otros tipos de ejercicio, pero sí hubo una diferencia significativa en el aumento de la sensibilidad a la insulina en 20 estudios (22). En un estudio similar al nuestro, Venables et al. sometieron 18 atletas a regímenes de entrenamiento aeróbico y anaeróbico, y encontraron que los niveles basales de insulina eran similares entre los dos grupos, pero los atletas aeróbicos presentaban una mayor sensibilidad a la insulina (23), lo cual concuerda con el estudio realizado por Bajpeyi y col., que no encontraron diferencias importantes en los niveles de insulina de mujeres postmenopáusicas expuestas a regímenes de ejercicio intenso o moderado (21). De la misma manera, se ha demostrado que la glicemia en ayunas es menor en deportistas; sin embargo, la información sobre cuál podría reducir de manera más importante estos niveles es controversial, y en el metaanálisis

de Jelleyman y col., se encontraron 30 estudios que abordaron esta pregunta; sin embargo, la diferencia entre ambos tipos de ejercicio no fue significativa, lo cual concuerda con los resultados de nuestro estudio (22).

Por otra parte, durante el ejercicio moderado se encontró una disminución de la insulina sérica asociada niveles estables de glucosa, lo que podría atribuirse a la acción de las catecolaminas durante la actividad física moderada. Esto está en concordancia con lo postulado por Marliss y col. en un compilado de sus múltiples estudios, en el cual describen que el ejercicio de moderada intensidad causa un aumento de las catecolaminas circulantes que actúan a nivel de los receptores alfa inhibitorios de las células beta pancreáticas, causando una disminución de la producción de insulina. La función fisiológica de este fenómeno podría ser el favorecer la sensibilización y acción del glucagón a nivel hepático para mantener el balance energético, en el cual aumentaría para doblar la producción de glucosa hepática en estados de ejercicio moderado, ya que durante la actividad física moderada la producción de glucosa mediada por catecolaminas solo se ve en ejercicio prolongado (>2 horas). A pesar de este aumento de la producción de glucosa mediado por glucagón, en sus experimentos los niveles de glucosa permanecieron estables sin importar los cambios en la insulina (24), de manera similar a nuestros resultados. Esto puede atribuirse a múltiples factores que promueven la absorción de glucosa sin la ayuda de la insulina, entre los cuales encontramos el aumento de la entrega a los tejidos, el transporte a través de la membrana y el flujo de a través de las distintas rutas metabólicas (glucólisis y oxidación de la glucosa (25,26). Además, aunque hay una disminución de la insulinemia, se ha probado que la insulina a nivel local en el tejido muscular se mantiene estable e incluso puede verse aumentada.

Durante el ejercicio intenso se encontraron elevaciones de la glucosa y la insulina simultáneas en los dos grupos. De manera similar, Marliss y col. encontraron elevaciones de la glucosa e insulina que llegaron a ser 7 veces los niveles basales en 18 individuos sanos sometidos a ejercicio intenso (27) y Purdon et al., por su parte, al comparar 6 jóvenes diagnosticados con diabetes mellitus tipo 1 (DM1) con controles sanos, encontraron un aumento significativo en la producción de glucosa que superó su consumo tisular y causó hiperglicemia (28). También Roy et al. describieron como la glucosa se elevó en individuos sometidos a ejercicio supramaximal (29). El contraste encontrado en esta fase del experimento puede explicarse por varios mecanismos. En primer lugar, el ejercicio favorece el aumento de la producción de hormonas, entre las cuales encontramos el factor de crecimiento re-

lacionado a la insulina (IGF-1), la hormona de crecimiento, la testosterona y el cortisol (30). De acuerdo con lo postulado por Kraemer, la GH y el cortisol han demostrado tener un mayor rol en los aumentos de la glucosa sérica en este contexto agudo (31,32). En nuestro estudio no logramos encontrar diferencias en los valores de la glucosa e insulina durante el ejercicio intenso; sin embargo, llama la atención que el grupo de atletas anaeróbicos no mostró una elevación significativa de la glucosa al pasar de ejercicio moderado a ejercicio intenso, mientras que la diferencia sí fue significativa en deportistas aeróbicos, lo cual podría sugerir que existe una diferencia en el comportamiento de los marcadores de los grupos estudiados, pero la magnitud de esta no fue suficientemente grande para ser detectada debido al tamaño de nuestra muestra. Esto concuerda con el planteamiento de Zouhal y col., según el cual los atletas de alto rendimiento tienen una mayor respuesta adrenérgica al ejercicio, la cual, a su vez, puede verse influenciada por el estado de entrenamiento, tipo de ejercicio y género. Los estudios han revelado que en el ejercicio aeróbico se presenta una mayor capacidad de secretar catecolaminas, y esto se ha descrito como “sports medulla” o médula de deportista; en contraste con esto, los deportistas anaeróbicos tienen una menor capacidad de desarrollar esta adaptación, y se requiere un entrenamiento continuo durante muchos años para llegar a niveles de catecolaminas similares a los atletas aeróbicos. Esta premisa podría causar un aumento menor en la producción de glucosa hepática en deportistas anaeróbicos, como se observó en nuestros sujetos. Además, esta puede ser además dependiente de la cantidad de ejercicio realizado, y se necesitaría una dosis mayor de 50 % del VO<sub>2</sub>max para desencadenar una respuesta simpática masiva cuando la duración del ejercicio es menor de 20 minutos, lo cual explica la variación en la respuesta que se presenta entre ejercicio moderado y severo en nuestros sujetos.(33)

Para complementar lo anteriormente expuesto, este estudio además no encontró una relación entre los valores predichos de glucosa e insulina, por lo cual es posible inferir que el control de la glicemia durante el ejercicio estuvo controlado por un factor adicional, que factiblemente es el tono adrenérgico.

## CONCLUSIÓN

El mantenimiento de un adecuado balance glucoenergético es fundamental durante el ejercicio, pues puede afectar el rendimiento de los atletas significativamente. La fisiología de este balance es compleja, debido a que existen muchos factores adicionales que tienen un papel importante al momento de compararla con el reposo. El tono adrenérgico parece tener un rol fundamental en

el control de los niveles de glucosa durante la actividad física, y su acción varía notoriamente de acuerdo con la intensidad y duración del entrenamiento con el objetivo de ajustarse a los procesos fisiológicos, vías de señalización y demandas metabólicas implicadas en cada una de las etapas de la actividad física, incluso superando el control que tiene la insulina y los mecanismos locales en los niveles de la glicemia. El tipo de ejercicio realizado, ya sea aeróbico o anaeróbico, ha demostrado afectar significativamente la manera en la cual el sistema nervioso autónomo responde a los diferentes retos físicos, asociándose a variaciones en la actividad de la médula suprarrenal y en la liberación de catecolaminas, las cuales, a su vez, influyen en el comportamiento de la glucosa y la insulina. Basándose en esto, las variaciones en la actividad del sistema nervioso simpático podrían influir de manera importante en el desempeño del individuo a través de su acción sobre el balance energético corporal.

En esta investigación se encontraron cambios significativos en el comportamiento de la glucosa e insulina durante el ejercicio, sin embargo, no se logró encontrar diferencias importantes entre los individuos acondicionados en entrenamiento aeróbico y anaeróbico. A pesar de esto, es evidente cómo el sistema nervioso simpático afectó las concentraciones de los marcadores evaluados en nuestro estudio, asociándose a valores de glicemia estables con niveles de insulina disminuidos en el ejercicio moderado y a aumentos notorios en ambos durante el ejercicio intenso, exponiendo el rol preponderante que puede tener una adecuada regulación de la actividad del sistema nervioso autónomo en el entrenamiento de atletas de altos logros. Es necesario realizar estudios adicionales con muestras de pacientes más grandes que además midan directamente la actividad del SNA y los marcadores que estudiamos para tener un mejor entendimiento de la relación que pueden tener estas variables.

## REFERENCIAS

1. Backhouse SH, Ali A, Biddle SJH, Williams C. Carbohydrate ingestion during prolonged high-intensity intermittent exercise: Impact on affect and perceived exertion. *Scand J Med Sci Sport*. 2007;17(5):605–10.
2. Foskett A, Williams C, Boobis L, Tsintzas K. Carbohydrate availability and muscle energy metabolism during intermittent running. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(1):96–103.
3. Terada T, Toghi Eshghi SR, Liubaoerjijin Y, Kennedy M, Myette-Côté É, Fletcher K, et al. Overnight fasting compromises exercise intensity and volume during sprint interval training but improves high-intensity aerobic endurance. *J Sports Med Phys Fitness*. 2019;59(3):357–65.

4. Aird TP, Davies RW, Carson BP. Effects of fasted vs fed-state exercise on performance and post-exercise metabolism: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sport*. 2018;28(5):1476–93.
5. Jeukendrup AE. Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition*. 2004;20(7–8):669–77.
6. Mendoca, Goncalo Pedro, perezait Vaz, Joao Silva L. Impact of Exercise Training on Physiological Measures of Physical Fitness in the Elderly. *Curr Aging Sci*. 2016;9(4):240–59.
7. McSwiney FT, Wardrop B, Hyde PN, Lafountain RA, Volek JS, Doyle L. Keto-adaptation enhances exercise performance and body composition responses to training in endurance athletes. *Metabolism* [Internet]. 2018;81:25–34. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2017.10.010>
8. Barbieri D, Zaccagni L, Babić V, Rakovac M, Mišigoj-Duraković M, Gualdi-Russo E. Body composition and size in sprint athletes. *J Sports Med Phys Fitness*. 2017;57(9):1142–6.
9. Cassidy S, Thoma C, Houghton D, Trenell MI. High-intensity interval training: a review of its impact on glucose control and cardiometabolic health. *Diabetologia*. 2017;60(1):7–23.
10. Moghetti P, Bacchi E, Brangani C, Donà S, Negri C. Metabolic Effects of Exercise. *Front Horm Res*. 2016;47:44–57.
11. Zanuso S, Sacchetti M, Sundberg CJ, Orlando G, Benvenuti P, Balducci S. Exercise in type 2 diabetes: Genetic, metabolic and neuromuscular adaptations. A review of the evidence. *Br J Sports Med*. 2017;51(21):1533–8.
12. Karimi H, Shakil-ur-Rehman S, Gillani SA. Effects of supervised structured aerobic exercise training program on interleukin-6, nitric oxide synthase-1, and cyclooxygenase-2 in type 2 diabetes mellitus. *J Coll Physicians Surg Pakistan*. 2017;27(6):352–5.
13. De Feo P, Di Loreto C, Lucidi P, Murdolo G, Parlanti N, De Cicco A, et al. Metabolic response to exercise. *J Endocrinol Invest*. 2003;26(9):851–4.
14. Trefts E, Williams AS, Wasserman DH. Exercise and the Regulation of Hepatic Metabolism [Internet]. 1st ed. Vol. 135, Progress in Molecular Biology and Translational Science. Elsevier Inc.; 2015. 203–225 p. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/bs.pmbts.2015.07.010>
15. Wasserman DH, Lacy DB, Goldstein RE, Williams PE, Cherrington AD. Exercise-induced fall in insulin and increase in fat metabolism during prolonged muscular work. *Diabetes*. 1989;38(4):484–90.
16. Wojtaszewski JFP, Nielsen JN, Richter EA. Invited review: Effect of acute exercise on insulin signaling and action in humans. *J Appl Physiol*. 2002;93(1):384–92.

17. Lopategui E. PRUEBA SUBMÁXIMA EN EL CICLOERGÓMETRO (Prueba de Söstrand Modificada por la YMCA) [Internet]. Experimento de Laboratorio F-11. 2012 [cited 2021 Apr 28]. p. 1–36. Available from: [http://www.saludmed.com/LabFisio/PDF/LAB\\_F11-Sostrand\\_YMCA.pdf](http://www.saludmed.com/LabFisio/PDF/LAB_F11-Sostrand_YMCA.pdf)
18. Santos DA, Dawson JA, Matias CN, Rocha PM, Minderico CS, Allison DB, et al. Reference values for body composition and anthropometric measurements in athletes. *PLoS One*. 2014;9(5).
19. Ostman C, Smart NA, Morcos D, Duller A, Ridley W, Jewiss D. The effect of exercise training on clinical outcomes in patients with the metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Cardiovasc Diabetol*. 2017;16(1):1–11.
20. Pan B, Ge L, Xun Y qin, Chen Y jing, Gao C yun, Han X, et al. Exercise training modalities in patients with type 2 diabetes mellitus: A systematic review and network meta-analysis. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2018;15(1):1–14.
21. Bajpeyi S, Tanner CJ, Slentz CA, Duscha BD, McCartney JS, Hickner RC, et al. Effect of exercise intensity and volume on persistence of insulin sensitivity during training cessation. *J Appl Physiol*. 2009;106(4):1079–85.
22. Jolleyman C, Yates T, O'Donovan G, Gray LJ, King JA, Khunti K, et al. The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: A meta-analysis. *Obes Rev*. 2015;16(11):942–61.
23. Venables MC, Shaw CS, Jeukendrup AE, Wagenmakers AJM. Effect of acute exercise on glucose tolerance following post-exercise feeding. *Eur J Appl Physiol*. 2007;100(6):711–7.
24. Marliss EB, Vranic M. Intense exercise has unique effects on both insulin release and its roles in glucose regulation: Implications for diabetes. *Diabetes*. 2002;51(SUPPL.):271–83.
25. Sylow L, Kleinert M, Richter EA, Jensen TE. Exercise-stimulated glucose uptake-regulation and implications for glycaemic control. *Nat Rev Endocrinol* [Internet]. 2017;13(3):133–48. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/nrendo.2016.162>
26. Richter EA, Hargreaves M. Exercise, GLUT4, and skeletal muscle glucose uptake. *Physiol Rev*. 2013;93(3):993–1017.
27. E B Marliss , E Simantirakis, P D Miles, R Hunt, R Gougeon, C Purdon, J B Halter, Vranic M. Glucose turnover and its regulation during intense exercise and recovery in normal male subjects. *Clin Investig Med*. 1992;406–19(15).

28. Purdon C, Brousson M, Nyveen SL, Miles PDG, Halter JB, Vranic M, et al. The roles of insulin and catecholamines in the glucoregulatory response during intense exercise and early recovery in insulin-dependent diabetic and control subjects. *J Clin Endocrinol Metab.* 1993;76(3):566–73.
29. Roy JY, Bongbélé J, Cardin S, Brisson GR, Lavoie JM. Effects of supramaximal exercise on blood glucose levels during a subsequent exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1991;63(1):48–51.
30. Kraemer WJ, Ratamess NA, Hymer WC, Nindl BC, Fragala MS. Growth Hormone(s), Testosterone, Insulin-Like Growth Factors, and Cortisol: Roles and Integration for Cellular Development and Growth With Exercise. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2020;11.
31. Kraemer WJ, Ratamess NA, Nindl BC. Recovery responses of testosterone, growth hormone, and IGF-1 after resistance exercise. *J Appl Physiol.* 2017;122(3):549–58.
32. Wideman L, Weltman JY, Hartman ML, Veldhuis JD, Weltman A. Acute and Chronic Aerobic and Recent Findings. *Sport Med.* 2002;32(15):987–1004.
33. Zouhal H, Jacob C, Delamarche P, Gratas-Delamarche A. Catecholamines and the effects of exercise, training and gender. *Sport Med.* 2008;38(5):401–23.