

Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar

Effect of a four-week exercise protocol on the body weight and blood sugar levels in Wistar rats

Blanca Viridiana Alcántar González¹, Xóchitl Trujillo², Miguel Huerta²

¹Universidad Nacional Autónoma de México

²Universidad de Colima, Centro Universitario de Investigaciones Biomédicas,

Laboratorio de Fisiología Neuromuscular

Contacto: valcantar@uabc.edu.mx ; rosio@uacol.mx

Cronograma editorial: Artículo recibido: 06/10/2016 Aceptado: 09/07/2017 Publicado: 01/09/2017

DOI: <https://doi.org/10.17979/sportis.2017.3.3.1825>

Resumen

Durante el ejercicio, los requerimientos de glucosa por los tejidos se incrementan, particularmente en el músculo esquelético; durante el ejercicio de intensidad moderada (60-75% $VO_{2\text{máx}}$); el incremento de glucosa es debido a un aumento en la relación glucagon venoso-insulina (Engler 2006). En el presente trabajo se determinó el efecto del ejercicio de resistencia aeróbica durante cuatro semanas sobre el peso corporal y los niveles de glucosa sanguínea en ratas Wistar. Los animales recibieron entrenamiento en una banda sinfín (Modular Enclosed Treadmill; Columbus Instrument, Columbus, OH, USA), cero grados de inclinación, con incorporación de dispositivo eléctrico de 10 mV. El protocolo de marcha se aplicó en sesiones de 30 min/día, a una velocidad de 10 m/min con una frecuencia de 5 veces/semana durante 4 semanas. Se midió el peso corporal y la glucosa sanguínea. Se determinó la Curva de Tolerancia Oral a la Glucosa (CTOG) en sangre en ayuno de 12 horas al inicio y al fin de cuatro semanas de ejercicio. La diferencia entre los grupos se analizó mediante la prueba estadística t de Student para comparación de medias, considerando una $p \leq 0.05$ como significativa. Después de cuatro semanas de entrenamiento, los grupos no mostraron diferencias significativas en el peso corporal 262.0 ± 31.78 g al inicio y 292.01 ± 35.62 g al final en el grupo control ($p > 0.05$) vs. 282.75 ± 25.91 g al inicio y 301.47 ± 31.38 al final en el grupo de ratas entrenadas ($p > 0.05$). Asimismo, los niveles de glucosa sanguínea antes y después del protocolo de ejercicio no se modificaron significativamente entre los grupos de estudio, siendo en el grupo control de 73.5 ± 3.8 g/dL al inicio y 83.5 ± 2.38 g/dL después de las 4 semanas de estudio; mientras que en el grupo experimental el nivel de glucosa sanguínea disminuyó de 91.0 ± 7.43 g/dL al inicio a 85.7 ± 7.0 g/dL al final de las 4 semanas del protocolo de entrenamiento; sin embargo, esta diferencia no fue significativa entre los grupos ($p > 0.05$). La CTOG antes y después del protocolo de ejercicio tendió a ser similar en ambos grupos de estudio.

Para citar este artículo utilice la siguiente referencia: Alcántar, B.; Trujillo, X.; Huerta, M. (2017). Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar. *Sportis Sci J*, 3 (3), 471-485. DOI:<https://doi.org/10.17979/sportis.2017.3.3.1825>

<http://revistas.udc.es/>

Palabras clave

Ejercicio de resistencia; glucosa sanguínea; peso corporal; ratas Wistar.

Abstract

Tissue glucose requirements augment during exercise, particularly in skeletal muscle. Glucose levels rise during moderate intensity exercise (60-75% VO_{2max}) due to an increase in the glucagon-insulin relationship (Engler, 2006). In this study we determined the effect of aerobic resistance exercise during four weeks on the body weight and blood sugar levels of Wistar rats. Experimental animals received training in a treadmill (Modular Enclosed Treadmill; Columbus Instrument, Columbus, OH, USA) with zero degrees of inclination and a 10 mV electric device incorporated. The exercise protocol was applied in 30 min sessions per day at a velocity of 10 m/min. with a frequency of 5 times a week for 4 weeks. Body weights and blood sugar levels were measured. At 12 hour fasting oral glucose tolerance curve (OGTC) was performed before and after the 4 weeks of exercise. The differences between the groups were analyzed using Student's t tests, a $p \leq 0.05$ was considered significant. After 4 weeks of training, the groups showed no significant differences in their body weights 262.0 ± 31.78 at the beginning, and 292.01 ± 35.62 g at the end of 4 weeks in the control group vs. 282.75 ± 25.91 g at the beginning, and 301.47 ± 31.38 g at the end of 4 weeks in the trained rats; $p > 0.05$). Similarly, blood glucose levels before and after 4 weeks of application of the exercise protocol were not significantly modified between the groups (73.5 ± 3.8 and 83.5 ± 2.38 g/dL in control group vs. 91.0 ± 7.43 and 85.7 ± 7.0 g/dL in the trained animals; $p > 0.05$). Likewise, the OGTC was comparable in both groups, before and after the application of the exercise protocol.

Keywords

Resistance exercise; blood glucose; body weight; Wistar rat.

1. Introducción

1.1 Actividad física

En su informe mundial para la salud (Nota descriptiva N°384 de junio de 2016), la Organización Mundial de la Salud (OMS) refiere que la actividad física es cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos, con el consiguiente consumo de energía. Trabajar, jugar, viajar, realizar labores domésticas y recreativas, están entre estas actividades y no deben confundirse con el “ejercicio”, puesto que éste se refiere a una subcategoría de la actividad física que es planeada, estructurada, repetitiva y que tiene como objetivo mejorar o mantener uno o más componentes del estado físico de la persona. El protocolo de entrenamiento forma parte de esta actividad física o ejercicio.

Cabe resaltar que, en las personas, en las primeras etapas de la vida se forman los hábitos saludables y entre estos se incluyen los hábitos alimentarios y de práctica de ejercicio, los cuales pueden programarse a fin de contribuir a la regulación a largo plazo del equilibrio energético. En general, a la actividad física, moderada o intensa, se le atribuyen propiedades benéficas para la salud y la OMS sugiere que para que se beneficie la salud cardiorrespiratoria, toda actividad debería realizarse en periodos de al menos 10 minutos. Con el fin de adoptar una perspectiva saludable, también recomienda prevenir enfermedades cuyo impacto contribuiría a reducir las cifras de la obesidad y consecuentemente prevenir y avanzar hacia complicaciones crónicas como son la diabetes.

La actividad física y el ejercicio planificado mediante un protocolo de entrenamiento, ofrecen una oportunidad inmejorable de intervención para mitigar el riesgo de obesidad y de diabetes tipo 2 en etapas posteriores. Esta ha sido una preocupación mundial y los estados miembros de la OMS se reunieron en 2013 y acordaron en el Plan de Acción Mundial para la prevención y el control de las enfermedades no transmisibles 2013-2020 reducir la inactividad física en un 10%. Con ello, el 56% de los países participantes tomaron la decisión de adoptar una serie de medidas, entre ellas reducir en un 10% la inactividad física mediante la promoción de la actividad física y las recomendaciones van encaminadas hacia los gobiernos

Para citar este artículo utilice la siguiente referencia: Alcántar, B.; Trujillo, X.; Huerta, M. (2017). Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar. *Sportis Sci J*, 3 (3), 471-485. DOI:<https://doi.org/10.17979/sportis.2017.3.3.1825>

Artículo Original. Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar.
Vol. III, n.º. 3; p. 471-485, septiembre 2017. A Coruña. España ISSN 2386-8333

para que se creen entornos sociales y urbanísticos que apoyen la práctica de una actividad física, asimismo, subsanar deficiencias fundamentales en los conocimientos sobre la diabetes y en particular, por grupos de edad, en niños y adolescentes recomienda realizar 60 minutos diarios de actividad moderada o intensa y para adultos (mayores de 18 años), la recomendación es que realicen 150 minutos semanales de actividad moderada (60-75% $VO_{2máx}$), con una frecuencia de 5 días a la semana, para reducir el riesgo de enfermedades crónicas degenerativas no transmisibles. Este tipo de requerimiento en el gasto energético recomendado puede ser alcanzado con la práctica de deportes, tal es el caso del boxeo ya que en la fase de preparación de atletas en etapa escolar se realizan ejercicios con una exigencia aeróbica de hasta el 75% de $VO_{2máx}$ según lo reportado por Álvarez-Berta (2016).

Cabe resaltar que en la realización de la actividad física y movimiento contribuyen los músculos esqueléticos. De este movimiento resulta un gasto energético ya que se incrementa la tasa metabólica entre 20 y 100 veces dependiendo del tipo de fibra muscular y de la intensidad de la actividad (Gibbs, 1987).

Un programa de actividad física aeróbica de moderada intensidad moviliza grandes grupos musculares constituidos hasta en un 85% de fibras de contracción lenta tanto en seres humanos (Eddinger et al. 1985) como en modelos animales, como la rata (Virgen-Ortiz et al. 2008) ya que su función primordial es la de mantener una potencia contráctil de minutos hasta horas. Si la actividad física es regulada en espacio, tiempo y seguimiento, se convierte en un protocolo de entrenamiento cuyos efectos pueden ser estudiados y delimitados de acuerdo a las variables de estudio. En este trabajo, en modelo animal en rata Wistar, se siguió un protocolo de entrenamiento (modificado de Muñiz et al. 2001) en la modalidad de marcha aplicado durante 4 semanas con una frecuencia de 5 veces/semana usando una banda sinfín con cero inclinación e incorporación de dispositivo eléctrico de 10 mV (Modular Enclosed Treadmill; Columbus Instrument, Columbus, OH, USA) y ejercitando a las ratas por 30 min al día a una velocidad de 10 m/min a fin de determinar si el entrenamiento de resistencia es capaz de modificar el peso y los niveles de glucosa sanguínea en las ratas que recibieron entrenamiento con respecto a las que no lo recibieron (controles).

Para citar este artículo utilice la siguiente referencia: Alcántar, B.; Trujillo, X.; Huerta, M. (2017). Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar. *Sportis Sci J*, 3 (3), 471-485. DOI:<https://doi.org/10.17979/sportis.2017.3.3.1825>

Artículo Original. Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar.
Vol. III, n.º. 3; p. 471-485, septiembre 2017. A Coruña. España ISSN 2386-8333

El músculo esquelético tiene un papel clave en la locomoción, el control de la postura y en otras actividades físicas que requieren de la contracción muscular. Este músculo es el órgano más abundante del cuerpo y energía que se produce y se consume por el mismo músculo es fundamental para el control metabólico y la homeostasis energética corporal. De los tipos de fibras musculares, la capacidad aeróbica de las fibras de contracción lenta está dada por su contenido mitocondrial; en estos organelos celulares se llevan a cabo los procesos oxidativos tanto de glucosa como de ácidos grasos para la generación de ATP (Adenosin Trifosfato), molécula que es considerada la principal fuente de energía para llevar procesos de gran importancia metabólica como es la contracción muscular (Guyton, 2001; Allen y Orchard, 1987).

Recientemente el músculo esquelético ha ganado considerable interés ya que se ha descrito como un órgano endocrino que libera sustancias con beneficios múltiples para la salud. Estas son denominadas miokinas (Febbraio y Pedersen, 2005; Yamaguchi et al. 2010) que se activan a partir de la contracción muscular y se asume que al menos, la actividad muscular es parcialmente responsable de los efectos benéficos que se promueven para la salud ya que la actividad física regulada protege contra los procesos inflamatorios crónicos de gran importancia actual como son la diabetes tipo 2, la resistencia a la insulina y el síndrome metabólico, entre otros (Eckardt et al. 2014).

Fisiológicamente, es a través de la actividad física aeróbica de moderada intensidad que se promueve la actividad aeróbica que durante el ciclo de Krebs se producen moléculas de NADH y FADH que son el poder reductor para la síntesis de hasta 36 moléculas de ATP por cada molécula de glucosa en la ATPasa, proceso final de la cadena de transporte de electrones. Sin embargo, se requiere de oxígeno y de un tiempo mayor a un minuto de ejercicio para que comience y se mantenga trabajando. Aumentando también la tasa de utilización del oxígeno en condiciones de metabolismo aerobio máximo (VO_{2max}) por parte del individuo para atender las necesidades de oxígeno requerido para estos procesos metabólicos (Muñiz et al. 2001) y la movilización de transportadores (GLUT-4) desde el citoplasma para ingresar la glucosa al interior de la célula muscular para que pueda ser oxidada (Eckardt et al. 2014).

Para citar este artículo utilice la siguiente referencia: Alcántar, B.; Trujillo, X.; Huerta, M. (2017). Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar. *Sportis Sci J*, 3 (3), 471-485. DOI:<https://doi.org/10.17979/sportis.2017.3.3.1825>

1.2 Biomarcadores para determinar factores de riesgo de salud

Se han relacionado marcadores como la glucosa sanguínea alterada mediante la hemoglobina glucosilada como un factor importante para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, aunque no necesariamente esté relacionada con el peso corporal (Rodríguez et al. 2015).

Ochoa-Martínez et al. (2012) mencionan que los factores que componen al síndrome metabólico pudieran estar relacionados con la disminución en la capacidad de movilidad en individuos de edad avanzada; sin embargo, se ha visto que mediante programas de intervención tanto de psicomotricidad (Silva-Moreira et al. 2016) como de actividad física de resistencia aeróbica pueden apoyar en revertir los efectos de la falta de movilidad y disminuir el aumento en los niveles de triglicéridos, según lo reportado por Hall-López et al. (2014). Por consiguiente, se busca establecer y fundamentar los beneficios de un programa de actividad física de resistencia aeróbica sobre la glucosa sanguínea y el peso corporal, objetivo del presente trabajo en modelo animal en rata Wistar.

2. Metodología

Se utilizaron 8 ratas Wistar macho de 2 meses de edad (200-350 g), obtenidas del bioterio del Centro Universitario de Investigaciones Biomédicas de la Universidad de Colima, las cuales fueron mantenidas en jaulas de acrílico bajo condiciones de bioterio (12 h luz/oscuridad, 23.5 °C, 40 -55% de humedad y alimentadas a libre demanda con dieta para rata marca Harlan (18% proteína, 5% grasa y 5% de fibra) y agua purificada a libre demanda. Las ratas fueron manejadas acorde con la Norma Oficial Mexicana (NOM-062-ZOO-1999), con especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio y acorde a los lineamientos para su mantenimiento en el bioterio.

2.1. Protocolo de actividad física

Después de un periodo de entrenamiento de una semana, las ratas fueron puestas a caminar en una banda sinfín (Modular Enclosed Treadmill; Columbus Instrument, Columbus,

Para citar este artículo utilice la siguiente referencia: Alcántar, B.; Trujillo, X.; Huerta, M. (2017). Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar. *Sportis Sci J*, 3 (3), 471-485. DOI:<https://doi.org/10.17979/sportis.2017.3.3.1825>

Artículo Original. Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar.
Vol. III, n.º. 3; p. 471-485, septiembre 2017. A Coruña. España ISSN 2386-8333

OH, USA), cero grados de inclinación, con incorporación de dispositivo eléctrico de 10 mV, durante 4 semanas. El protocolo seguido se describe a continuación:

Durante una semana previa al inicio del protocolo de ejercicio, las ratas realizaron un periodo de adaptación a la banda sin fin, en la cual caminaron a una velocidad de 10 m/min durante un tiempo incremental diario desde 5, 10, 15, 20 y hasta 25 min, respectivamente. El protocolo de actividad física en la modalidad de marcha tuvo una duración de 30 min/día a una velocidad de 10 m/min con una frecuencia de 5 veces/semana durante cuatro semanas. Se determinó el peso corporal cada tercer día y se realizó una prueba de Tolerancia Oral a Glucosa en sangre al inicio y al final de las cuatro semanas de aplicado el protocolo de entrenamiento. En la Tabla 1 se describe el programa de actividad física o protocolo de entrenamiento.

Tabla 1. Programa de actividad física aeróbica en modalidad de marcha.

Semana	Día	Duración de la sesión (min)	Velocidad (m/min)	Inclinación de la banda (grados)
1	1	5	10	0
	2	10		
	3	15		
	4	20		
	5	25		
2 - 4	6 - 20	30		

2.2 Prueba de Tolerancia Oral a la Glucosa

Para la determinación de la Prueba de Tolerancia Oral a la Glucosa (PTOG) a las ratas se siguió el procedimiento descrito en Ríos-Silva et al. (2014). Brevemente, a las ratas en ayuno de 12 horas se les suministró una carga de glucosa de 2g por kg de peso y posteriormente se colectaron muestras de sangre venosa de la punta de la cola a intervalos regulares de tiempo, es decir, una muestra cada 30 minutos la primer hora y después a los 120 minutos (cuatro

Para citar este artículo utilice la siguiente referencia: Alcántar, B.; Trujillo, X.; Huerta, M. (2017). Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar. *Sportis Sci J*, 3 (3), 471-485. DOI:<https://doi.org/10.17979/sportis.2017.3.3.1825>

Artículo Original. Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar.
Vol. III, n.º. 3; p. 471-485, septiembre 2017. A Coruña. España ISSN 2386-8333

muestras, contando la inicial al tiempo cero). Las muestras de sangre se analizaron inmediatamente con un glucómetro marca Accu-check Active® y las correspondientes tiras reactivas a glucosa marca Accu-check Active® (Roche, Mannheim, Germany). Con los valores de concentración de glucosa y tiempo se obtuvo la Curva de Tolerancia Oral a la Glucosa (CTOG).

2.3 Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó mediante el programa SPSS (versión 15) y la diferencia de los promedios entre los grupos se analizó mediante la prueba estadística t de Student, considerando como significativos los resultados cuando la diferencia fue menor o igual a 0.05. Para el análisis entre los grupos se utilizó análisis de varianza (ANOVA) con post-test de Tukey para el peso corporal.

3. Resultados

3.1 La actividad física no modifica el peso corporal de las ratas

El peso de las ratas control (no entrenadas) y experimentales al final del protocolo de actividad física no mostró cambios significativos (292 ± 17.81 g vs. 301.5 ± 15.7 g) respectivamente; $n= 4$, $p= 0.352$. La Figura 1 muestra los resultados de los grupos de estudio (control y entrenadas) al inicio y al final de las cuatro semanas de entrenamiento.

Cambio en peso corporal por efecto del ejercicio

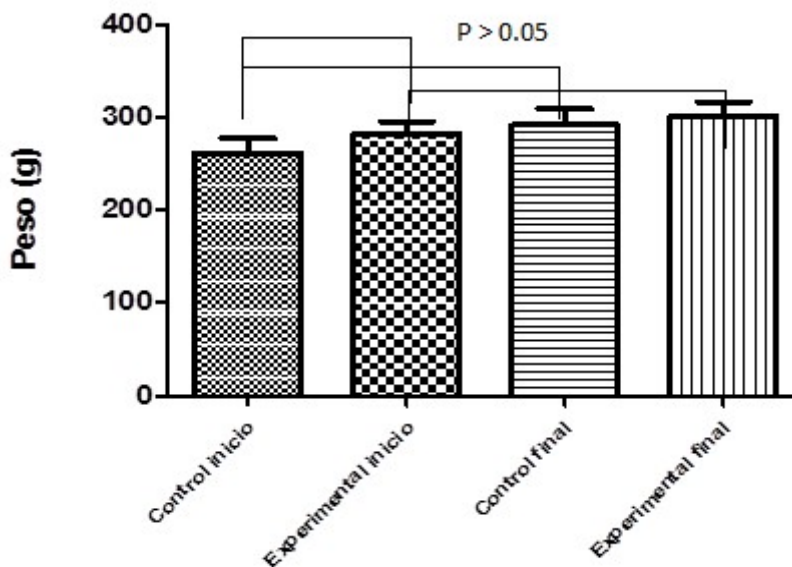


Figura 1. Efecto de la actividad física sobre el peso corporal de las ratas.

3.2 La actividad física disminuye los niveles de glucosa

La prueba de tolerancia a la glucosa oral basal, a los 30, 60 y 120 minutos en las ratas control vs. entrenadas mostró los siguientes valores para la glucosa en los dos grupos: 1) basal (73.5 ± 1.93 vs. 91.0 ± 3.71 mg/dL, $n=4$, $p= 0.016$); 2) a los 30 minutos (110.0 ± 15.9 vs. 105.0 ± 3.48 mg/dL, $n=4$, $p= 0.749$); 3) a los 60 minutos (122.5 ± 7.26 vs. 133.75 ± 2.17 mg/dL, $n=4$, $p= 0.268$); 4) a los 120 minutos (89.25 ± 3.96 vs. 109.25 ± 4.95 mg/dL, $n=4$, $p= 0.027$). Sin embargo, a la semana 4 de entrenamiento se obtuvieron los siguientes resultados: 1) basal (98.81 ± 4.15 vs. 109.75 ± 1.88 -mg/dL, $n=4$, $p= 0.115$); 2) a los 30 minutos (107.68 ± 8.34 vs. 107.93 ± 9.92 mg/dL, $n=4$, $p= 0.894$); 3) a los 60 minutos (98.81 ± 4.15 vs. 107.68 ± 8.34 mg/dL, $n=4$, $p= 0.268$); 4) a los 120 minutos (109.75 ± 1.88 vs. 107.93 ± 9.92 mg/dL, $n=4$, $p= 0.846$). La Figura 2 ilustra los resultados anteriormente mencionados (antes del ejercicio) y en la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos al final de las 4 semanas de aplicación del protocolo de ejercicio (entrenamiento).

Artículo Original. Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar.
Vol. III, n.º. 3; p. 471-485, septiembre 2017. A Coruña. España ISSN 2386-8333

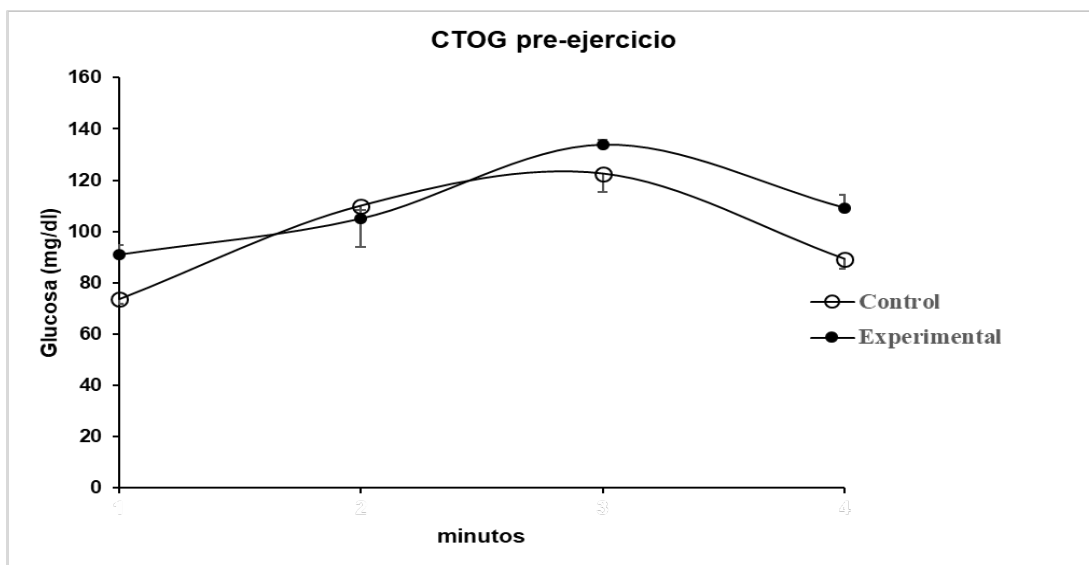


Figura 2. Curva de tolerancia oral a la glucosa basal (antes del ejercicio)

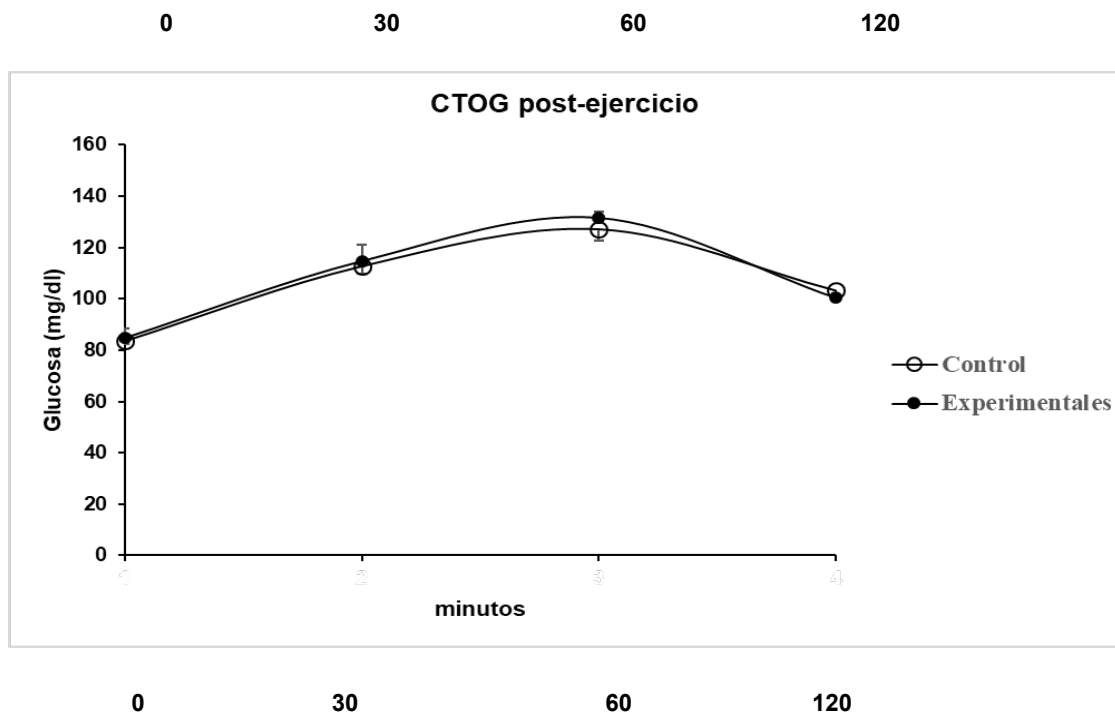


Figura 3. Curva de tolerancia oral a la glucosa al final de las cuatro semanas de ejercicio.

Para citar este artículo utilice la siguiente referencia: Alcántar, B.; Trujillo, X.; Huerta, M. (2017). Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar. *Sportis Sci J*, 3 (3), 471-485. DOI:https://doi.org/10.17979/sportis.2017.3.3.1825

4. Discusión y conclusiones

En el presente trabajo se determinó el efecto de un protocolo de ejercicio de resistencia aeróbica aplicado durante cuatro semanas a dos grupos de rata Wistar y se determinó el peso corporal y los niveles de glucosa sanguínea al inicio y al final de las cuatro semanas de entrenamiento. El peso en las ratas fue diferente al inicio de la aplicación del protocolo experimental fue diferente entre los grupos de estudio, sin embargo, esta diferencia no fue significativa ($P > 0.05$). Como era de esperarse, el peso se incrementó en los grupos de estudio, independientemente de recibir entrenamiento o no, puesto que las ratas siguen su proceso de crecimiento y en el caso de las ratas entrenadas, aunque fueron solo cuatro semanas, la masa muscular compensó el peso en grasa. La adaptación al ejercicio es un proceso necesario para compensar las necesidades de oxígeno del músculo y las necesidades nutricionales para compensar la demanda energética. Sin embargo, ambos grupos de ratas fueron alimentadas con el mismo tipo de nutriente y suplementadas con agua a libre demanda, por lo que no podemos atribuir al tipo de alimento y cantidad las diferencias adquiridas en el peso como ha sido observado en estudios en que se alimenta a las ratas con diferentes niveles de proteína (Ribeiro et al. 2010).

Por otro lado, aunque no se midió el consumo de oxígeno y la tasa de utilización asociado al programa de entrenamiento aplicado, se ha descrito que el entrenamiento de intensidad moderada con un consumo de oxígeno del 70% VO_{2max} , por más de 20 semanas promueve el crecimiento de masa ósea y de la densidad mineral ósea, lo que se refleja naturalmente en el peso de las ratas. Asimismo, el músculo requiere de la demanda de oxígeno para atender las necesidades de los procesos metabólicos del músculo (Muñiz et al. 2001) y consecuentemente, la masa muscular con el entrenamiento se incrementa. Sin embargo, el programa de entrenamiento que nosotros aplicamos fue de solo cuatro semanas y las ratas son adultas jóvenes, lo que no puede descartarse que el propio crecimiento del animal es el causante del cambio en el peso corporal y no la diferencia en estar entrenados o no. Contrariamente, ha sido observado que con la edad declina la capacidad aeróbica del músculo esquelético y también la producción de fuerza; consecuentemente disminuyen tanto la fuerza

Artículo Original. Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar.
Vol. III, n.º. 3; p. 471-485, septiembre 2017. A Coruña. España ISSN 2386-8333

y masa muscular en pacientes (Keller y Engelhardt, 2012) y la masa ósea en rata (Huang et al. 2008).

La Prueba de Tolerancia Oral a la Glucosa (PTOG) es una prueba dinámica que permite evaluar el uso de la glucosa por el organismo y cómo ésta es regulada por la insulina cuando se administra una carga oral de la glucosa. En presencia de glucosa, el páncreas secreta la insulina para incorporarla a las células a través de los transportadores a glucosa, siendo el tipo GLUT-4 el que se presenta en el tejido muscular (Guyton, 2001). La curva de tolerancia oral a la glucosa sirve para diagnosticar intolerancia a la glucosa y resistencia a la insulina, es decir, mediante esta curva se, refleja la capacidad que tiene el organismo para movilizar el exceso de glucosa en la sangre y llevarla a los 120 minutos a los niveles de normalidad. En los grupos de estudio, los resultados muestran que antes del entrenamiento, los grupos no fueron iguales en cuanto a la curva de CTOG; sin embargo, la comparación de los resultados antes y después de la aplicación de un protocolo de entrenamiento a las cuatro semanas, la diferencia entre los grupos inicial fue eliminada. El grupo experimental mantuvo sus niveles de glucosa, mientras que el grupo control aumentó las concentraciones de glucosa, aunque este incremento no fue significativo y la tendencia entre los grupos fue a similar. La evidencia encontrada en este trabajo muestra la relación que existe entre el entrenamiento y el mantenimiento de los niveles de glucosa a las cuatro semanas. El hecho que la actividad física disminuya los niveles glucosa sanguínea en las ratas experimentales muestra evidencia de los beneficios que aporta la actividad física per se (Shafirir et al. 1999) y posiblemente puede ser una medida recomendada para regular los niveles de glucemia, que ya se sugiere en los pacientes diabéticos (Mikus et al. 2012). Mayor investigación es necesaria para determinar los beneficios de un protocolo de entrenamiento, por ejemplo, prolongar el tiempo de entrenamiento y homogeneizar los grupos de estudio, asimismo medir el consumo de oxígeno y las algunas de las miokinas involucradas antes y después del entrenamiento.

5. Referencias bibliográficas

1. Allen DG, Orchard CH. (1987). Myocardial contractile function during ischemia and hypoxia. *Circulation Research*, 60(2), 153-168.
<http://circres.ahajournals.org/cgi/content/abstract/60/2/153>
2. Álvarez-Berta, L. M., Maharjan, D., Mateos-Padorno, C., & Sánchez, M. L. Z. (2016). El entrenamiento especial del boxeo escolar cubano y sus zonas afectadas. *Sportis. Scientific Journal of School Sport, Physical Education and Psychomotricity*, 2(2), 288-302.
<http://revistas.udc.es/index.php/SPORTIS/article/view/sportis.2016.2.2.1458>
3. Eckardt, K., Görgens, S. W., Raschke, S., & Eckel, J. (2014). Myokines in insulin resistance and type 2 diabetes. *Diabetologia*, 57(6), 1087-1099.
4. Eddinger, T. J., Moss, R. L., & Cassens, R. G. (1985). Fiber number and type composition in extensor digitorum longus, soleus, and diaphragm muscles with aging in Fisher 344 rats. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, 33(10), 1033-1041.
<http://www.jhc.org/cgi/content/abstract/33/10/1033>
5. Engler, D. (2006). Hypothesis: Musculin is a hormone secreted by skeletal muscle, the body's largest endocrine organ. Evidence for actions on the endocrine pancreas to restrain the beta-cell mass and to inhibit insulin secretion and on the hypothalamus to co-ordinate the neuroendocrine and appetite responses to exercise. *Acta Bio-Medica: Atenei Parmensis*, 78, 156-206.
6. Febbraio MA, Pedersen BK (2005) Contraction-induced myokine production and release: is skeletal muscle an endocrine organ? *Exerc Sport Sci Rev*, 33:114–119.
7. Guyton, A. C., & Hall, J.E. (2001). *Tratado de Fisiología médica*. c, 82, 894.
8. Gibbs CL (1987). Comparative muscle energetics and the cost of activation. *Proc Austr Physiol Pharmac Soc* 18, 115–123
9. Hall-López, J. A., Ochoa-Martínez, P. Y., Alarcón-Meza, E. I., Anaya-Jaramillo, F. I., Teixeira, A. M. M. B., Moncada-Jiménez, J., & Dantas, E. H. M. (2014). Effect of a

Artículo Original. Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar.
Vol. III, n.º. 3; p. 471-485, septiembre 2017. A Coruña. España ISSN 2386-8333

hydrogymnastics program on the serum levels of high-sensitivity C-reactive protein amongst elderly women. *Health*, 2014.

10. Huang, T.H., Chang, F.L., Lin, S.C., Liu, S.H., Hsieh, S.S., Yang, R.S. (2008). Endurance treadmill running training benefits the biomaterial quality of bone in growing male Wistar rats. *J Bone Miner Metab*, 26(4):350-357.
11. Mexicana, N. O. 062-ZOO-1999. Especificaciones Técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Secretaría de Agricultura, Ganadería. Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Estados Unidos Mexicanos.
12. Mikus, C.R., Oberlin, D.J., Libla, J., Boyle L.J., & Thyfault, J.P. (2012). Glycaemic control is improved by 7 days of aerobic exercise training in patients with type 2 diabetes. *Diabetología*, 55(5):1417-1423.
13. Muñiz, J., Del Rio, J., Huerta, M. & Marin, J.L. (2001). Effects of sprint and endurance training on passive stress-strain relation of fast- and slow-twitch skeletal muscle in Wistar rat. *Acta Physiologica Scandinavica*, 173(2):207-12.
14. Ochoa-Martínez, P. Y., Hall-López, J. A., Alarcón-Meza, E., Rentería, I., Botelho Teixeira, A. M. M., Lara-Zazueta, H., & Martin Dantas, E. H. (2012). Comparison of Agility and Dynamic Balance in Elderly Women with Endomorphic Mesomorph Somatotype with Presence or Absence of Metabolic Syndrome. *International Journal Morphology*, 30(2), 637-42.
15. Organización Mundial de la Salud. Informe Mundial Sobre la Diabetes. www.who.int/diabetes/global-report. WHO/NMH/NVI/16.3, 2016.
16. Ribeiro, S.M., Rogero, M.M., Bacurau, R.F., De Campos, P.L., Luz, S.S., Lancha, A.H. & Tirapegui, J. (2010). Effects of different levels of protein intake and physical training on growth and nutritional status of young rats. *Journal Nutrition Science Vitaminology*, 56(3):177-84.
17. Ríos-Silva, M., Trujillo, X., Trujillo-Hernández, B., Sánchez-Pastor, E., Urzúa, Z., Mancilla, E., Huerta, M. (2014). Effect of chronic administration of forskolin on

Par

sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar. *Sportis Sci J*, 3 (3), 471-485. DOI:<https://doi.org/10.17979/sportis.2017.3.3.1825>

Artículo Original. Efecto de un protocolo de ejercicio por cuatro semanas sobre el peso corporal y la glucemia en rata Wistar.
Vol. III, n.º. 3; p. 471-485, septiembre 2017. A Coruña. España ISSN 2386-8333

glycemia and oxidative stress in rats with and without experimental diabetes.
International Journal of Medical Sciences, 1(5):448-52.

18. Rodríguez, B. O., Fierro, L. G. D. L., & Legleu, C. E. C. (2015). Indicadores antropométricos y su relación con marcadores bioquímicos en mujeres. *Nutrición Hospitalaria*, 32(n06), 2547-2550.
<http://www.aulamedica.es/gdcr/index.php/nh/article/view/9743>
19. Shafrir, E., Ziv, E., & Mosthaf, L. (1999). Nutritionally Induced Insulin Resistance and Receptor Defect Leading to β -Cell Failure in Animal Models. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 892(1), 223-246.
20. Silva-Moreira, M., Almeida, G. N., & Marinho, S. M. (2016). Efectos de un programa de Psicomotricidad Educativa en niños en edad preescolar. *Sportis. Scientific Journal of School Sport, Physical Education and Psychomotricity*, 2(3), 326-342.
<http://revistas.udc.es/index.php/SPORTIS/article/view/sportis.2016.2.3.1563>
21. Virgen-Ortiz, A., Marin, J. L., Trujillo, X., Huerta, M., & Muñiz, J. (2008). Sprint training attenuates the deficits of force and dynamic stiffness in rat soleus muscle caused by eccentric contractions. *Journal of biomechanics*, 41(11), 2533-2538.
22. Yamaguchi, W., Fujimoto, E., Higuchi, M., & Tabata, I. (2010). A DIGE proteomic analysis for high-intensity exercise-trained rat skeletal muscle. *Journal of biochemistry*, 148(3), 327-333.