

Ejercicio intermitente de alta intensidad como estrategia terapéutica para diabéticos tipo 2 residentes en alturas intermedias

High-intensity interval exercise as a therapeutic strategy for type 2 diabetic persons living in moderately elevated regions

Jesús Alberto Moreno-Bayona,^I Fernando Cote Mogollón^{II}

^I Universidad de Pamplona, Facultad de Salud, Departamento de Ciencias Básicas. Colombia.

^{II} Universidad de Pamplona, Facultad de Salud. Colombia.

RESUMEN

Introducción: El ejercicio físico contribuye al control glicémico en los pacientes diabéticos y disminuye la aparición de complicaciones.

Objetivo: Identificar una modalidad de ejercicio eficiente para los pacientes con diabetes tipo 2 residentes en alturas intermedias.

Métodos: Estudio de tipo cuantitativo de carácter *cuasi* experimental. Se evaluaron 15 pacientes con diagnóstico de diabetes tipo 2, residentes en Pamplona, Colombia, adscritos a una institución prestadora de servicios de salud. La muestra se dividió de forma aleatoria en tres grupos: cinco pacientes para el grupo de ejercicio combinado, cinco para el grupo de ejercicio intermitente de alta intensidad y cinco controles, sin actividad física alguna. Todos los participantes realizaron actividad física sistemática y supervisada durante ocho semanas entre septiembre y octubre de 2014. Se midieron las concentraciones de hemoglobina glicosilada antes y después de la intervención para cada uno de los tres grupos.

Resultados: Ambas modalidades de ejercicio disminuyeron significativamente las concentraciones del marcador serológico analizado. Para el ejercicio combinado: antes de la prueba 7,20 %; después de la prueba 6,80 % (-0,40). Para el ejercicio intermitente de alta intensidad: antes 7,50; después 7,08 (-0,42); por el contrario, el grupo control presentó aumento en las concentraciones de hemoglobina glicosilada: antes 8,30 % y después 8,42 % (+0,12).

Conclusiones: La modalidad de ejercicio intermitente de alta intensidad disminuye en mayor proporción las concentraciones de hemoglobina glicosilada, de ahí que sea la opción de actividad física más eficiente para los pacientes diabéticos tipo 2 residentes en alturas intermedias.

Palabras clave: Diabetes tipo 2; ejercicio de alta intensidad; hemoglobina glicosilada.

ABSTRACT

Introduction: Exercise offers great benefits for glycemic control of diabetic patients and decreases the occurrence of complications.

Objective: To identify a more effective and less time-consuming exercise modality for patients with type 2 diabetes who live in middle-altitude areas.

Methods: A quantitative, quasi-experimental study which evaluated 15 patients with diagnosis of type 2 diabetes, who lived in Pamplona, Colombia, and were cared for by a health service provider institution called "Fundación Médico Preventiva". The sample was randomly divided into three groups, that is, five patients for the combined exercise group, five for the high-intensity interval exercise group and five for the control group which did not perform any physical activity. The two first groups performed systematic supervised physical activity for 8 weeks from September to October, 2014. Levels of glycosylated hemoglobin were measured before and after the intervention in each group.

Results: Both types of exercise significantly decreased the levels of glycosylated hemoglobin. For the combined exercise group, the results were pre-test: 7.2 % and post-test 6.8 % (-0.34); for the high-intensity interval exercise group: pre-test 7.5 and post-test 7.08 (-0.42) whereas the control group increased their levels of glycosylated hemoglobin: pre-test 8.3 % and post-test 8.42 % (+0.12).

Conclusions: It was observed that high-intensity interval exercise reduce glycosylated hemoglobin in higher proportions, thus becoming a more effective physical activity option for type 2 diabetic patients.

Key words: Type 2 Diabetes, high-intensity interval exercise, glycosylated hemoglobin.

INTRODUCCIÓN

La diabetes mellitus es un trastorno del metabolismo de los carbohidratos, que constituye un problema de salud pública a nivel mundial al afectar a un promedio de 250 millones de personas en el mundo; se espera que para el 2030 que esta cifra ascienda a 350 millones. Cada año, 7 millones de personas desarrollan esta enfermedad. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), de 2012, se calcula que en el 2004 fallecieron 3,4 millones de personas y se prevé, que las muertes por diabetes se multipliquen por dos entre el 2005 y el 2030.

En Colombia la diabetes mellitus se ubica entre las 10 primeras causas de consulta en mayores de 45 años y se estima que el 7 % de los colombianos mayores de 30 años padecen de diabetes tipo 2 y más del 30 % de esta población lo desconoce.¹

Se ha encontrado que el ejercicio físico combate la resistencia a la insulina, impide su progresión y ofrece grandes beneficios sobre el control glicémico en los pacientes diabéticos, entre ellos, la disminución de la aparición de sus complicaciones.²

En la actualidad el esquema de ejercicio propuesto por las sociedades científicas requiere realizarse como mínimo durante 150 min/semanales, pero el 65 % de los pacientes manifiestan falta de tiempo y el 53 % falta de conocimiento acerca del tipo y cantidad de ejercicio.³

El ejercicio aeróbico es aquel que involucra movimientos rítmicos de grupos musculares grandes, el cual se puede realizar durante un periodo superior a los 15 min. Se incluyen en este tipo de ejercicio: correr, bailar, montar bicicleta y otros. Se ha demostrado que después de 40 min de bicicleta al 60 % del consumo máximo de oxígeno (VO₂max.), la captación de glucosa en las piernas de los diabéticos es el doble que en los que no lo eran.⁴⁻⁶

Algunos metaanálisis recientes confirman que la realización de ejercicio estructurado, es decir, aquel direccionado mediante un plan de entrenamiento supervisado, se asocia a una disminución de hasta el 0,67 % en las concentraciones de HbA_{1c}⁷ de los diabéticos tipo 2, mientras que en otros estudios se informa que no se presentan cambios de dicho marcador serológico en respuesta al ejercicio aeróbico.⁸⁻¹¹

La evaluación de estas investigaciones reafirma que la frecuencia del ejercicio así como el diagnóstico temprano de la diabetes podrían influir en la capacidad del ejercicio para disminuir la glicemia. De igual forma algunos estudios de ejercicio aeróbico registran mejoras con disminución de la concentración de HbA_{1c} en

1-2 %, ¹²⁻¹⁶ otros no notifican cambios.¹⁷

El ejercicio de fuerza, es aquel caracterizado por realizar flexiones y extensiones repetitivas de segmentos musculares con pesas, máquinas de fuerza, bandas elásticas o con el propio peso. Los diabéticos tipo 2 muestran mejoras en su glicemia basal después de 10 semanas de ejercicio de fuerza con intensidades entre moderada y alta [50-85 % de una repetición máxima (1RM) realizado 3 veces por semana].^{11,18-21} Sin embargo otros estudios no han encontrado cambios significativos en la glicemia basal o en la HbA_{1c} a pesar de utilizar iguales protocolos y poblaciones.²²

En los últimos años, se ha generado un mayor interés sobre el ejercicio intermitente de alta intensidad (HIT por sus siglas en inglés). Esta es una modalidad de ejercicio anaeróbico, que se realiza principalmente en bicicleta estática o ciclo-ergómetro y consiste en alternar periodos de 30 seg de pedaleo a máxima velocidad (valor de 9 en la escala de Borg), contra una carga constante, con periodos de recuperación con pedaleo a una intensidad moderada (valor de 6-7 en la escala de percepción de esfuerzo de Borg), durante 2 min. Se ha demostrado que este tipo de ejercicio es seguro y confiable para pacientes con diabetes tipo 2.¹¹⁻¹³

Los estímulos ejercidos tanto por el ejercicio como por las concentraciones de glucosa, son los más importantes que existen para el transporte de esta última hacia el músculo.

En las personas diabéticas, se presenta un deterioro en la señalización mediada por la insulina, pero los mecanismos dependientes del ejercicio se mantienen indemnes.^{23,24} El transportador de glucosa tipo 4 (GLUT4), es el que se expresa desde una posición intracelular a la membrana del músculo esquelético.²⁵ Durante la contracción muscular o durante el ejercicio, el proceso de expresión del GLUT4, se da como consecuencia de cambios en el estado de energía celular, es decir la relación ATP/AMP celular.²⁵⁻²⁸ Las últimas recomendaciones del Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACMS) y la Asociación Americana de Diabetes (ADA),

aconsejan que la combinación de ejercicio aeróbico y de fuerza debe incluirse en la prescripción de ejercicio.²²

Cada repetición de HIT exige al máximo el sistema de transporte de oxígeno, así como la frecuencia cardíaca. Adicionalmente, lo característico de este tipo de ejercicio es que estimula el sistema cardiorrespiratorio a niveles cercanos al máximo, sin necesidad de producir cantidades excesivas de lactato.^{29,30}

Ciertos trabajos han mostrado que incluso una sesión corta de ejercicio de alta intensidad genera los mismos beneficios en cuanto a la resistencia a la insulina y la función endotelial, que el ejercicio convencional, explicándose lo anterior debido a la intensidad del ejercicio más que a la duración.³¹⁻³⁴ Hasta donde se conoce hoy día, uno de los mecanismos moleculares responsables de las adaptaciones metabólicas del músculo esquelético al HIT, es la capacidad de aumentar la función mitocondrial, que influye en la activación de la proteína 1α coactivadora del receptor activado por el proliferador de peroxisomas (PGC-1α) en el músculo esquelético humano.³⁵

El HIT puede activar PGC-1 aumentando su translocación nuclear, lo que sugiere que un programa de adaptación mitocondrial estaría asociado con estas series cortas de ejercicios de alta intensidad.³⁵

De otra parte, los estudios respecto a este tema, realizados hasta la fecha, no especifican la altura sobre el nivel del mar a la cual se han llevado a cabo, desconociendo el efecto que la altura pudiese tener sobre el metabolismo de los carbohidratos. Solo recientemente se encontró que el ejercicio intermitente en condiciones de hipoxia moderada simulada, mejoró significativamente los niveles de glicemia, comparado con otras modalidades de ejercicio realizadas en condiciones de normoxia, por lo que ofrece una opción de ejercicio más eficiente para el control glicémico de los pacientes, pues no demanda sesiones prolongadas ni con tanta frecuencia semanal.³⁶

Estos estudios aún no han sido validados en nuestro país y menos en alturas superiores a los 2000 m sobre el nivel del mar (m.s.n.m), razón por la cual surge una gran oportunidad para poder determinar el efecto de estas diferentes modalidades de ejercicio sobre el metabolismo de los carbohidratos en pacientes diabéticos, pues la hipoxia se presenta de manera permanente durante todo el día y no únicamente mientras se realiza el ejercicio.

En este trabajo se evaluaron dos diferentes modalidades de ejercicio (combinado *versus* alta intensidad) para identificar el más eficiente y que demande menos tiempo para los pacientes con diabetes tipo 2 residentes en alturas intermedias, lo que constituye su objetivo.

MÉTODOS

Se realizó un estudio de tipo cuantitativo de carácter *cuasi* experimental, en el cual se evaluaron 15 pacientes residentes en la ciudad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia, adscritos a la institución prestadora de servicios de salud Fundación Médico Preventiva, durante ocho semanas comprendidas entre los meses de septiembre y octubre de 2014, quienes realizaron actividad física sistemática y supervisada.

Se excluyeron los pacientes con diagnóstico de diabetes tipo 2, quienes al examen físico de valoración inicial o por resultado de ayudas diagnósticas, presentaron signos de retinopatía y neuropatía periférica. Los 15 pacientes se dividieron de forma aleatoria en tres grupos a saber: cinco pacientes para el grupo de ejercicio combinado, cinco para el grupo de HIT y cinco al grupo control, sin actividad física.

Los pacientes asignados al grupo de ejercicio combinado, el cual como su nombre lo indica, involucra ejercicio aeróbico, ya sea en bicicleta, atletismo, bicicleta estática, caminadora, entre otros, a intensidades intermedias (60 % del VO₂max o 6-7 en la escala de percepción de esfuerzo de Borg) y ejercicio de fuerza, es decir levantamiento de peso mediante el uso de máquinas de multifuerza para realizar flexiones y extensiones de diversas masas musculares del cuerpo a la misma intensidad que el ejercicio aeróbico. Estos pacientes realizaron actividad física 5 veces por semana en sesiones que involucraban 20 min de ejercicio aeróbico en bicicleta estática a la intensidad de 6-7 según la escala de Borg y 20 min de ejercicio de fuerza en máquinas multifuerza involucrando 3 masas musculares distintas, y a la misma intensidad que el aeróbico.

Los pacientes asignados al HIT realizaron actividad física igualmente 8 semanas a una frecuencia de 3 veces por semanas, durante 20 min cada sesión y alternaron con periodos de máximo pedaleo a intensidades de 9 según la escala de Borg durante 30 seg, con periodos de recuperación de 2 min a intensidades de 6-8 según la misma escala de Borg. Ambos programas de ejercicio se basaron en el principio de ondulación de la carga. Se midieron las concentraciones de HbA_{1c} antes de la intervención y después de las 8 semanas para cada uno de los tres grupos. Como medida de seguridad, durante cada una de las sesiones de ejercicio se tomaron glucometrías antes y después de cada sesión.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó inicialmente midiendo los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-wilk y posteriormente se analizaron los valores de HbA_{1c} pre y posintervención para los tres grupos mediante una t de student pareada. El programa utilizado fue Statistix 10, Trial versión.

Ética

El presente estudio se concibe como una investigación de riesgo mínimo a tenor de lo establecido en la resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia, para investigación en seres humanos.

Todos los sujetos de la muestra firmaron el documento para el consentimiento informado.

RESULTADOS

La muestra la conformaron siete hombres y ocho mujeres, con promedios de edad de 56,64 años (\pm 4,9) y de peso de 77,09 kg (\pm 10,9). No hubo predominio alguno en cuanto a género en la participación de los sujetos. Seis sujetos tenían concomitantemente diagnóstico de hipertensión arterial, la cual estaba controlada

mediante medicamentos al momento de la intervención. Ningún sujeto de la muestra presentó comorbilidades o condiciones clínicas que contraindicaran la realización del ejercicio.

Ambas modalidades de ejercicio redujeron significativamente las concentraciones de HbA1c en los grupos de sujetos sometidos a los dos tipos de ejercicio efectuados durante la intervención ($P= 0,0149$ para el ejercicio combinado y $p= 0,0002$ para el ejercicio intermitente), pero fue el ejercicio intermitente de alta intensidad el que redujo en mayor cuantía la concentración de HbA1c ($p= 0,0002$). Por el contrario, el grupo control, que no realizó actividad física alguna, presentó un aumento en sus concentraciones del indicador estudiado (Fig.1).

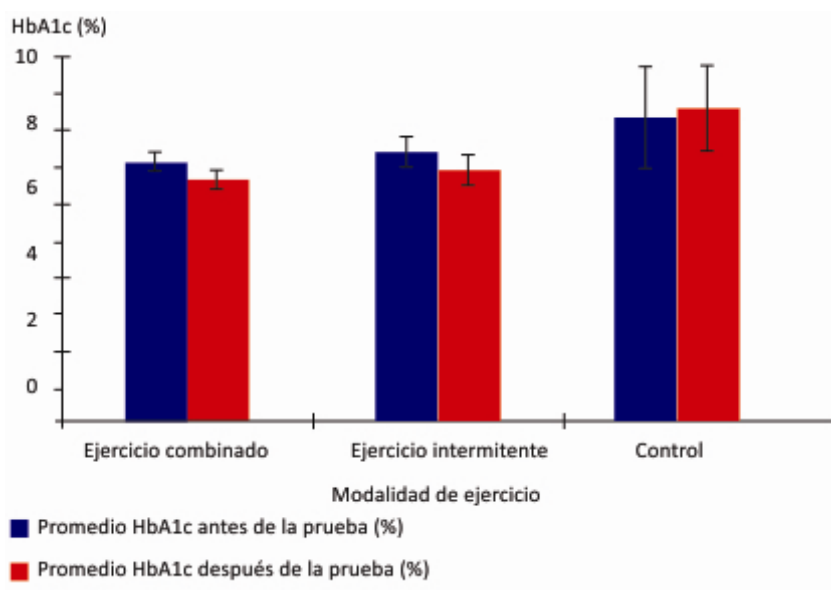


Fig. 1. Variación en las concentraciones promedio de HbA1c antes y después de la prueba, en las diferentes modalidades de ejercicios.

El efecto agudo de las sesiones de ejercicio sobre la glicemia tomada antes y después de cada sesión para ambos grupos intervenidos, como una medida de seguridad, demostraron una disminución gradual de las concentraciones de glucosa a medida que se avanzaba en el tiempo de la intervención, derivado de un efecto aditivo de las diferentes sesiones, disminución que a la postre condujo a una disminución en las concentraciones de HbA1c (Fig. 2, 3).

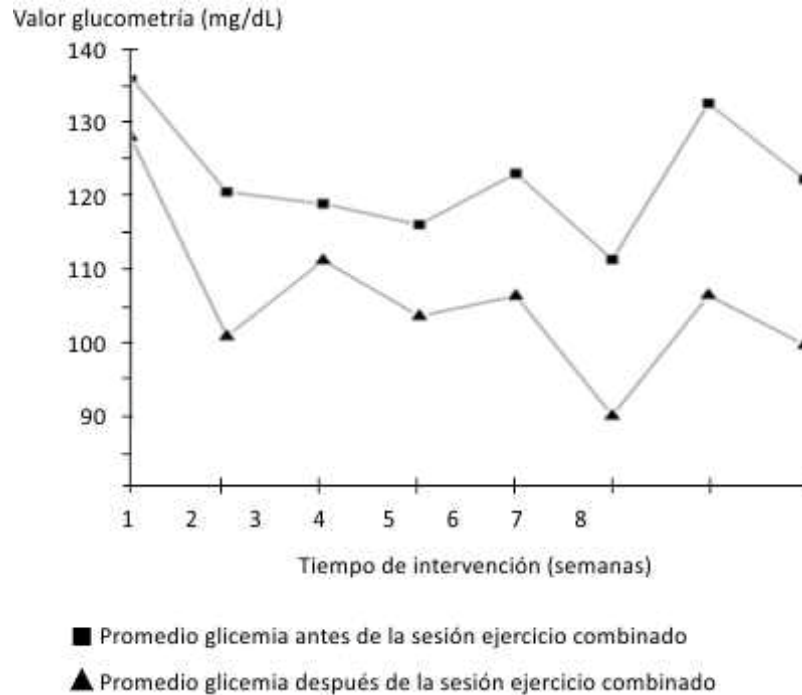


Fig. 2. Comparación de los promedios de los valores de glicemia medidos por glucometría antes y después de la intervención en el grupo con ejercicio combinado.

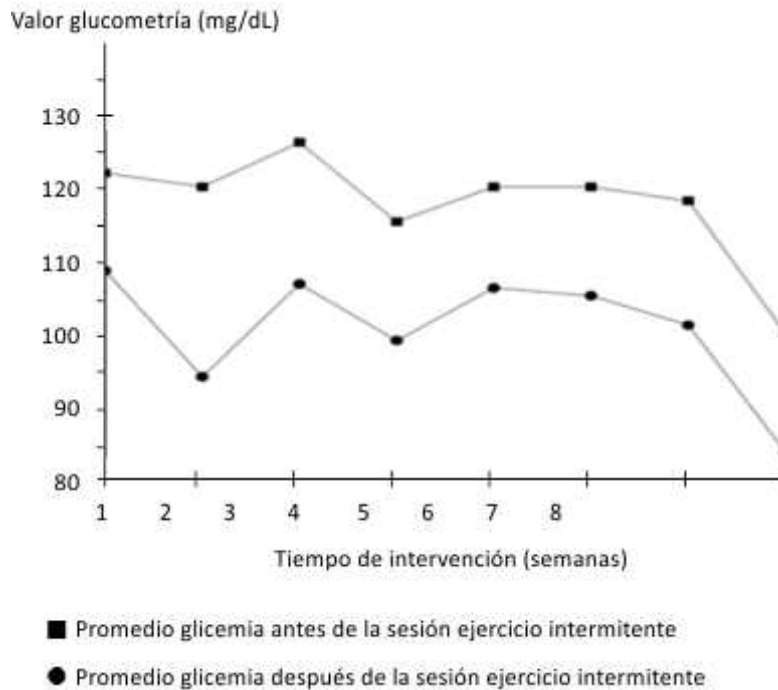


Fig. 3. Comparación de los promedios de los valores de glicemia medidos por glucometría antes y después de la intervención en el grupo con ejercicio intermitente de alta intensidad.

DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio se correlacionan con los descritos por otros autores a nivel mundial, en cuanto a la mayor eficiencia del ejercicio intermitente de alta intensidad para manejo de la diabetes tipo 2.^{11,30,36} De otra parte, la intensidad del ejercicio se convierte en un elemento a tener en cuenta al momento de prescribir el ejercicio en pacientes diabéticos, pues como lo describió *Boule*, la intensidad del ejercicio es más importante que su duración.³⁶

Los cambios en las concentraciones de HbA1c aunque puedan parecer pequeños y estadísticamente significativos, desde el punto de vista clínico tienen un impacto importante, pues se ha demostrado que una disminución de apenas 1 % en las concentraciones de la HbA1c reduce en el 12-16 % el riesgo de un evento cardiovascular y en el 37 % las complicaciones microvasculares.³⁷

Un aspecto novedoso del presente estudio, es su realización en pobladores de alturas intermedias, como es el caso de Pamplona, Norte de Santander, Colombia, ubicada a 2350 m.s.n.m, quienes por dicha ubicación geográfica están sometidos a hipoxia permanente. Hasta la fecha ningún estudio ha relacionado este aspecto con el efecto del ejercicio intermitente sobre la diabetes mellitus tipo 2, pues no han especificado la altura sobre el nivel del mar a la cual se realizó. Adicional a lo anterior, tampoco hay estudios recientes que hayan utilizado la HbA1c como marcador serológico para evaluar la eficacia de un programa de ejercicio en residentes en alturas intermedias.

Solo los estudios de *Mackenzie* y otros, han evaluado el efecto de la hipoxia intermitente simulada en cámaras hipobáricas y el ejercicio sobre la glicemia de los diabéticos tipo 2. Encuentran que el ejercicio realizado a hipoxias moderadas tiene un efecto aditivo en mejorar la glicemia a corto plazo y atribuye este efecto a un posible aumento en la sensibilidad periférica de los tejidos a la insulina.³⁶

Así las cosas, la hipoxia se convierte en un factor facilitador para controlar la glicemia en los diabéticos que residen en alturas intermedias, lo cual garantizaría mayor efectividad en una rutina de ejercicio con menor frecuencia semanal, puesto que para los pacientes que residen en un ambiente hipóxico moderado permanente, como ocurre en la ciudad de Pamplona (2 350 m.s.n.m), el efecto continuo de esta variable podría explicar la disminución más significativa que se observó en las concentraciones de HbA1c en el paciente diabético tipo 2 que realiza HIT, comparado con el ejercicio combinado y con el grupo control.

Entre las limitaciones de este estudio, encontramos el tamaño reducido de la muestra, pues existió mucha negativa a participar por parte de los pacientes con dicha enfermedad, y de igual forma el proceso de familiarización de los pacientes con la escala de percepción de esfuerzo de Borg, pues pudo haber generado algún grado de subjetividad en la determinación por parte de estos del nivel de intensidad del ejercicio.

Por todo lo expuesto y en virtud de que los índices de adherencia a la actividad física por parte de los pacientes diabéticos son muy bajos y argumentan poca disponibilidad de tiempo, el ejercicio intermitente de alta intensidad se constituye en una forma más eficiente y atractiva para que estos pacientes cumplan con sus requerimientos de actividad física, máxime si el mismo se realiza en alturas intermedias, pues este es un factor favorecedor del control de la glicemia por efecto aditivo. Los resultados del presente estudio sugieren que el ejercicio intermitente se constituye en una opción más eficiente para el manejo no farmacológico de la

diabetes mellitus tipo 2, pues reduce de manera importante las concentraciones de HbA1c a las ocho semanas de intervención.

Se recomienda, la realización de trabajos futuros con muestras más grandes y estudios con la participación de varios centros, que permitan la reproducibilidad de los datos en otras altitudes; asimismo, sería interesante observar el comportamiento de otras variables metabólicas en estos pacientes como resultado de la realización de este tipo de ejercicio en alturas intermedias.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de interés para este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Marquez J, Ramon G, Marquez J. Actualidad en ejercicio y diabetes tipo 2. Arch Med Deporte. 2011;XXVIII(143):188-98.
2. American Diabetes Association. Position statement:Diabetes mellitus and exercise. Diabet Care. 2013;36(Suppl 1):S11-566.
3. Sato Y, Kondo K, Watanabe T, Sone H, Kobayashi M. Present situation of exercise therapy for patients with diabetes mellitus in Japan: a nationwide survey. Diabetol Int. 2012;3:86-91.doi 10.1007/s13340-012-0065z.
4. Martin G, Jonathan L, Maureen M,Hawley J. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. J Physiol. 2012; 590.5:1077-84.
5. Giacca A, Groenewoud Y, Tsui E, McClean P, Zinman B. Glucose production, utilization, and cycling in response to moderate exercise in obese subjects with type 2 diabetes and mild hyperglycemia. Diabetes. 1998;47:1763-70.
6. Matthew D. Contributions of Basal and Postprandial Hyperglycemia Over a Wide Range of A1C Levels Before and After Treatment Intensification in Type 2 Diabetes. Diabet Care. 2011;34(12):2508-14.
7. Umpierre D, Ribeiro P, Kramer C. Physical activity advice only or structured exercise training and association with HbA1c levels in type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. JAMA. 2011;305:1790-9.
8. Bouchard C, Blair S, Church S, Earnest C,Hagberg J, HäkkinenK, et al. Adverse metabolic response to regular exercise: is it a rare or common occurrence? PLoS ONE 2012;7(5):e37887.
9. Stephens N, Sparks L. Resistance to the beneficial effects of exercise in type 2 diabetes: are some individuals programmed to fail? J Clin Endocrinol Metab. 2015;100(1):43-52.
10. Marquis-Gravel G, Hayami D, Juneau M, Nigam A, Guilbeault V, Latour É, et al. Intensive lifestyle intervention including high-intensity interval training program

improves insulin resistance and fasting plasma glucose in obese patients. *Preven Med Reports*.2015 ;(2):314-18.

11. Terada T, Friesen A, Chahal BS, Bell GJ, McCargar LJ, Boule NG. Feasibility and preliminary efficacy of high intensity interval training in type 2 diabetes. *Diabet Res Clin Pract*.2013;99:120-9.

12. Gillen J, Little B, Punthakee J, Tarnopolsky Z, Riddell M, Gibala M. Acute high-intensity interval exercise reduces the postprandial glucose response and prevalence of hyperglycaemia in patients with type 2 diabetes. *Diabet Obesity Metab*. 2012;(14):575-7. doi: 10.1111/j.1463-1326.2012.01564.x

13. Vissers D, Hens W, Taeymans J, Baeyens J-P, Poortmans J, Van Gaal L. The Effect of Exercise on Visceral Adipose Tissue in Overweight Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS ONE*. 2013;8(2):e56415. doi:10.1371/journal.pone.0056415.

14. Parra-Sánchez J, Moreno-Jiménez M, Nicola C, Nocua-Rodríguez I, Amegló-Parejo M, del Carmen-Peña M, et al. Evaluación de un programa de ejercicio físico supervisado en pacientes sedentarios mayores de 65 años con diabetes mellitus tipo 2. *AtenPrim*. 2015;47(9):555-62.

15. Trovatti M, Carta Q, Cavalot F. Influence of physical training on blood glucose control, glucose tolerance, insulin secretion, and insulin action in non-insulin-dependent diabetic patients. *Diabet Care*. 1984;7:416-20.

16. Poirier P, Tremblay A, Broderick T, Catellier C, Tancrede G, Nadeau A. Impact of moderate aerobic exercise training on insulin sensitivity in type 2 diabetic men treated with oral hypoglycemic agents: is insulin sensitivity enhanced only in non obese subjects? *Med Sci Monit*. 2002;8:CR59-65.

17. Armstrong M, Sigal R. Exercise as Medicine: Key Concepts in Discussing Physical Activity with Patients who have Type 2 Diabetes. *Canad J Diabet*. 2015(39):S129-S133.

18. Church T. Exercise in Obesity, Metabolic Syndrome, and Diabetes. *Prog Cardiovasc Dis*. 2011;53(6):412-8.

19. Dunstan DW, Daly RM, Owen N. High-intensity resistance training improves glycemic control in older patients with type 2 diabetes. *Diabet Care*. 2002;25:1729-36.

20. Dunstan DW, Puddey I, Beilin L, Burke V, Morton A, Stanton K. Effects of a short-term circuit weight training program on glycaemic control in NIDDM. *Diabetes Res Clin Pract*. 1998;40:53-61.

21. Honkola A, Forsen T, Eriksson J. Resistance training improves the metabolic profile in individuals with type 2 diabetes. *Acta Diabetol*. 1997;34:245-8.

22. American Diabetes Association. Standards of medical care in diabetes. *Diabet Care*. 2014;37(Suppl 1):S14-S80.

23. Friedrichsen M, Mortensen B, Pehmøller C, Birk J, Wojtaszewski J. Exercise-induced AMPK activity in skeletal muscle: Role in glucose uptake and insulin sensitivity. *Molec Cell Endocrinol*. 2013 (366);2:204-14.

24. Hoffman N, Elmendorf J. Signaling, cytoskeletal and membrane mechanisms regulating GLUT4 exocytosis. *Trends Endocrinol Metab.* 2011;(22):110-6.
25. Gorostiaga E, Charles B, Foster C, Hickson R. Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity. *Europ J Appl Physiol Occup Physiol.* 1991;(63):N2.
26. Essen B. Studies on the regulation of metabolism in human skeletal muscle using intermittent exercise as an experimental model [abstract]. *Acta Physiol Scand.*1978 ;(Suppl 454):1-32.
27. Gollnick P, Armstrong R, Saubert C, Piehl K, Saltin B. Enzyme activity and fibre composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J Appl Physiol.* 1972;(33):312-9.
28. Saltin B. Glycogen Depletion in Specific Types of Human Skeletal Muscle Fibers in Intermittent and Continuous Exercise. *Metabolic Adapt Prolonged Phys Exerc.* 1975:402:15.
29. Billat L. Interval training for performance: A scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part II: Anaerobic interval training. *Sports Med.* 2001;(31):75-90.
30. Burgomaster K, Howarth K, Phillips S, Rakobowchuk M, Macdonald M, McGee S, et al. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol.* 2008;(586):151-60.
31. Marcinko K, Sikkema S, Samaan M, Kemp B, Fullerton M, Steinberg G. High intensity interval training improves liver and adipose tissue insulin sensitivity. *Mol Metabol.* 2015;4(12):903-15.
32. Whyte L, Ferguson C, Wilson J, Scott R, Gill J. Effects of single bout of very high-intensity exercise on metabolic health biomarkers in overweight/obese sedentary men. *Metabolism.* 2013; 62(2):212-9.
33. Egan B, Carson B, Garcia-Roves P, Chibalin A, Sarsfield F, Barron N, et al. Exercise intensity-dependent regulation of PGC-1 α mRNA abundance is associated with differential activation of upstream signalling kinases in human skeletal muscle. *J Physiol.* 2010;588:1779-90.
34. Little JP, Guillen JB. Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *J Appl Physiol.* 2011;111(6):1554-60.
35. Mackenzie R, Maxwell N, Castle P. Acute hypoxia and exercise improve insulin sensitivity in individuals with type 2 diabetes. *Diabetes Metab Res Rev.* 2011;27:94-101. doi: 10.1002/dmrr.
36. Boule N, Haddad E, Kenny G, Wells G, Sigal R. Effects of Exercise on Glycemic Control and Body Mass in Type 2 Diabetes Mellitus-A Meta-Analysis of Controlled Clinical Trials. *JAMA.* 2001;286(10):1218-27
37. Pai J, Cahill L, Hu F, Rexrode K, Manson J, Rimm E. Hemoglobin A1c Is Associated With Increased Risk of Incident Coronary Heart Disease Among Apparently Healthy, Nondiabetic Men and Women. *J Am Heart Assoc.* 2013;2:e000077. doi: 10.1161/JAHA.112.000077.

Recibido: 25 de febrero de 2016.
Aceptado: 29 de julio de 2016.

Jesús Alberto Moreno-Bayona. Universidad de Pamplona, Facultad de Salud,
Departamento de Ciencias Básicas. Colombia.

Correo electrónico: jealmoba@unipamplona.edu.co