PubliCE, (PubliCE) 2005

Monograph

Índice Glicémico y Rendimiento: Ingesta de Carbohidratos de Distinto Índice Glicémico y su Efecto en la Capacidad de Resistencia

Lic. Ignacio Alejandro Costa[1]

[1]*Centro de Investigación y Entrenamiento Deportivo. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe – Argentina*

RESUMEN

Objetivo: Medir el efecto en la capacidad de resistencia, de la ingesta de soluciones de distinto índice glicémico, durante un ejercicio extenuante de alta intensidad. Sujeto: Se evaluó a un pedestrista de mediano rendimiento de 30 años de edad; 64kg. de peso corporal; con un somatotipo meso-endomorfico, un porcentaje graso 9,7% y un VO_2 máximo de 52,17ml/kg/min. *Métodos:* En tres oportunidades diferentes el sujeto corrió sobre una cinta ergométrica al 80% del VO_2 máximo, hasta no poder mantener dicha intensidad. Antes de la actividad y cada 15 minutos se le administró por vía oral, 200ml de solución, con 0,4% de cloruro de sodio y 5% de carbohidratos, de alto índice glicémico (AIG); bajo índice glicémico (BIG); o placebo (CON). Se registró la glucosa en sangre (antes del ejercicio, antes de cada ingesta y postesfuerzo); la frecuencia cardiaca (antes del ejercicio, cada 5 minutos durante la prueba y postesfuerzo) y el tiempo total de la prueba. *Resultados:* El primer test, CON terminó a los 50 minutos, la glucemia media fue de 113,33 ±11,59mg/dl, la frecuencia cardiaca media 191 ±4,33lat/min. El segundo test, BIG concluyó a los 56 minutos, la glucemia media fue de 115,33 ±1,53mg/dl, la frecuencia cardiaca media 189 ±4,40 lat/min. El tercer test, AIG terminó a los 68 minutos, su glucemia media 169 ±74,20mg/dl, su frecuencia cardiaca media fue 188,92 ±4,44lat/min. *Conclusión:* En este caso, ha quedado en evidencia que la ingesta de una solución de carbohidratos de AIG, durante el ejercicio extenuante de alta intensidad tiene un efecto positivo en la performance, retardando la aparición de la fatiga.

Palabras Clave: índice glicémico, rendimiento, capacidad de resistencia, ejercicio extenuante, vo₂ máximo

INTRODUCCION

Desde 1981 se han publicado en el American Journal of Clinical Nutrition, tablas clasificando a los alimentos de acuerdo al índice glicémico (22, 23, 34). Y existe gran cantidad de trabajos, respecto al efecto que tiene sobre la performance deportiva, la ingesta de hidratos de carbono de distinto índice glicémico; antes y durante la actividad física (3, 5, 8, 9, 15, 16, 19, 21, 43, 46, 50, 58, 61, 62, 64). Sin embargo, aun están discutidos los efectos de la ingesta de carbohidratos durante ejercicios de resistencia a alta intensidad de alrededor de una hora de duración (26, 62). Es por esto, que surge la necesidad de observar, que efecto tiene en la capacidad de resistencia, la ingesta de soluciones de distinto índice glicémico, durante un ejercicio extenuante de alta intensidad (carrera al 80% del VO_2 máximo) y dejar sentado un precedente para futuras investigaciones.

Indice Glicémico y Actividad Física

El índice glicémico (IG) es la clasificación de los alimentos, basada en la respuesta post-prandial de la glucosa sanguínea, determinado en relación a la ingesta de glucosa (IG = 100); aunque algunas tablas incluyen información tomando como alimento estándar al pan blanco. Su determinación se realiza por la ingesta de un alimento con 50gr. de carbohidratos, midiendo la glucemia postprandial durante un lapso de 2 horas (22, 23, 34, 42, 63).

Los alimentos pueden clasificarse en alto índice glicémico(AIG) (IG mayor de 85), moderado índice glicémico (MIG) (IG entre 60 y 85) y bajo índice glicémico (BIG) (IG menor de 60) (41).

Para la población en general, la clasificación de los alimentos por su índice glicémico tiene gran importancia ya que, se ha demostrado que la ingesta de dietas de AIG durante largo tiempo, parece ser un factor de riesgo para desarrollar diabetes tipo 2 (54, 55, 60) y enfermedades cardiovasculares (40). Por el contrario la ingesta de dietas de BIG, parecen reportar beneficios para la salud previniendo la obesidad (41), ciertos tipos de cáncer (24) y en pacientes diabéticos, les ayuda a mantener baja su glucemia (33).

En la población deportiva, se ha observado que la ingesta de dietas de AIG antes de la actividad física, aumenta la utilización de carbohidratos durante la misma, aunque según algunos autores; parecería no tener efecto sobre la performance (20). Sin embargo en otros trabajos si se observo una mejora en la performance (8), inclusive en deportistas con diabetes tipo 1 (50). También mejoraría la capacidad de resistencia con la ingesta de carbohidratos de MIG, antes de la actividad (38).

Durante la actividad, la ingesta de carbohidratos mejora el mantenimiento de la glucosa sanguínea (5, 15, 16); permite una alta tasa de oxidación de carbohidratos exógenos, preservando las reservas de glucógeno del hígado y el músculo (6, 31, 35); retardando la aparición de la fatiga, incrementando la capacidad de resistencia (5, 9, 15, 16, 21, 46, 58) y mejorando la performance (3, 8, 50, 61, 62). Similares respuestas se han observado combinando la ingesta de carbohidratos antes y durante el esfuerzo (19, 43, 64).

Metabolismo de la glucosa durante el ejercicio aeróbico intenso

La glucosa es almacenada en el cuerpo humano como glucógeno, el cual se localiza principalmente en los músculos esqueléticos y en el hígado (29, 46, 62). Durante el ejercicio, la demanda de energía del organismo aumenta y para satisfacerla, debe haber mayor cantidad de glucosa disponible para abastecer a los músculos activos (62). Esta glucosa debe ser liberada de su deposito, por lo que la glucogenolisis debe aumentar (29, 62). Así la glucosa liberada del hígado entra en la sangre para circular por el cuerpo y estar a disposición de los tejidos activos.

Como los músculos utilizan primero su propio glucógeno, antes de usar la glucosa plasmática; la glucosa liberada por el hígado queda en circulación elevando los niveles de glucosa en la sangre (62). Si la actividad es de larga duración estos también pueden incrementarse mediante la gluconeogenesis (4, 62).

Así los niveles de glucosa en la sangre dependen del equilibrio entre la glucogenolisis hepática y la utilización de glucógeno por el músculo (2, 29, 62). De este modo, la cantidad de glucosa liberada por el hígado, estará afectada por la intensidad y duración de la actividad (51, 60) y la cantidad de masa muscular involucrada (51).

Cuando aumenta la intensidad del ejercicio, también lo hace la liberación de catecolaminas. Por lo tanto el ritmo de glucogenólisis aumenta significativamente. Este proceso no solo tiene lugar en el hígado, sino también en los músculos (62).

Si el ejercicio es de intenso y de corta duración esta glucosa plasmática, será utilizada al final de la actividad para reponer las reservas de glucógeno muscular (62).

Pero, si la actividad es de larga duración los niveles de glucosa en sangre se mantendrán similares a los de reposo o levemente mayores, hasta que comience a agotarse la reserva de glucógeno hepático, lo que ocurrirá a pesar de la estimulación de la gluconeogenesis provocada por el glucagón y el cortisol (56), produciendo así, una marcada hipoglucemia (2, 29, 62); que llevara a la fatiga (10, 11, 12, 15, 53, 62).

Se ha sugerido que la depleción de los carbohidratos es resultado de una imposibilidad del músculo de resintetizar ATP a la misma velocidad en que este es degradado (11, 53). Es por eso, que en este momento la glucosa ingerida durante la actividad puede desarrollar un papel muy importante en el mantenimiento de los niveles de glucosa sangre y la performance (8, 12, 15, 62).

El ingreso de la glucosa al músculo activo se produce por difusión facilitada, mediado por proteínas transportadoras de

glucosa (GLUT-4) (26). Se ha observado que los trabajos aeróbicos de baja intensidad, mayores a 30 minutos; incrementan la cantidad de GLUT-4 en la membrana de los músculos activos (12, 17, 18, 25, 27, 28, 30, 45, 49). Esto tiene que ver con la actividad física como activadora de los GLUT-4, independientemente de la insulina (57).

La cantidad de GLUT-4 aumenta más, en el músculo entrenado; que en el no entrenado (39) y más aun con trabajos de resistencia a alta intensidad (56).

El consumo de glucosa por el músculo se incrementa cuando aumenta la intensidad del ejercicio (2, 13, 14, 52, 62).

Durante cargas de trabajo intensas (>75-80% VO_2máx.) mayores de 30 minutos de duración y que solo pueden sostenerse durante aproximadamente por una hora y media como máximo, es probable que un agotamiento significativo de las reservas de glucógeno muscular; sea el factor limitante del rendimiento (2, 13, 62). Con estas cargas, el glucógeno muscular de las fibras rápidas (FT) se moviliza con mayor frecuencia y su glucógeno se agota a mayor velocidad que el de las fibras lentas (ST), aunque no significa que las fibras ST se usen menos; simplemente refleja la mayor dependencia del glucógeno que tienen las FT (62). Cuando las ST agotan sus reservas de glucógeno, las FT no pueden generar suficiente tensión muscular, o no pueden ser movilizadas suficientemente para compensar la pérdida de tensión muscular y parecería ser que esto es la causa de la sensación de fatiga muscular y pesadez, durante los ejercicios de larga duración (62).

En esta intensidad de ejercicio (>75% VO_2máx.), una suma de factores (32); altos niveles de epinefrina circulante en combinación con el flujo glucolítico incrementado y las concentraciones aumentadas de lactato en el plasma, reducen la lipólisis (2, 37) e incrementan la reesterificación en el tejido adiposo, lo que resulta en una reducción de la tasa de aparición de ácidos grasos (37) y en una consecuente, mayor utilización del glucógeno como combustible (52).

METODOS

Sujeto

El deportista evaluado fue un pedestrista de mediano rendimiento de 30 años de edad; 64kg de peso corporal; con un somatotipo meso-endomorfico (X = -0,74; Y = 7,26) (método Heath and Carter) y un porcentaje graso 9,7% (método Yuhasz).

El deportista fue evaluado después de un período de transición de cuatro semanas, el cual precedió a un período competitivo también de cuatro semanas de duración, en el cual participo en dos carreras; una de 10km y otra de 21km.

El sujeto había sido informado de los riesgos que corría al someterse a esta investigación y acepto libremente participar, tomando el mismo la responsabilidad por lo que pudiera ocurrirle.

Evaluación preliminar

Primeramente se determinó de manera indirecta, el VO_2 máximo del sujeto. Este dato se obtuvo por medio del test de carrera continua de 12 minutos (test de Cooper). La cual se realizó en una pista de atletismo de 400 metros, 72hs de antes de las otras evaluaciones.

La ecuación con la cual se obtuvo el VO_2 máximo fue la propuesta por el ACSM, (1986):

$$VO_2máx.\ (ml/kg/min) = (0,2 \times Velocidad\ del\ test,\ en\ m/min) + 3,5$$

Una vez conocido el VO_2 máximo del sujeto se prosiguió a calcular su 80%, lo cual se realizó con la siguiente ecuación:

$$80\%\ VO_2máx. = VO_2máx. \times 0,8$$

A partir del 80% del VO_2 máximo, se calculó la velocidad en kilómetros por hora, a la cual debía correr el sujeto durante los tests:

$$Velocidad\ en\ km/h = (((80\%\ VO_2máx. / 0,2) - 3,5) / 1000m) \times 60min$$

Igual proceso se utilizó para hallar el 65% del VO_2máx. para determinar la velocidad de carrera de la entrada en calor.

Evaluaciones

En tres ocasiones diferentes, separadas cada una por 72hs, el sujeto realizó una carrera en cinta ergométrica, a una velocidad constante equivalente al 80% de su VO_2 máximo; debiendo consumir en cada oportunidad una solución de agua, cloruro de sodio y carbohidratos o edulcorante.

En la primera prueba, de control (CON) el sujeto consumió un placebo, compuesto de agua, aspartame (Nutrasweet®) como edulcorante y 0,4% cloruro de sodio. En la segunda ocasión consumió una bebida de alto índice glicémico (AIG), agua con 5% de dextrosa (ENA Sport Nutrition®) y 0,4% se cloruro de sodio. En la tercera evaluación consumió una bebida de bajo índice glicémico (BIG), agua con 5% de fructosa (ENA Sport Nutrition®) y 0,4% se cloruro de sodio.

Protocolo

Las evaluaciones comenzaron cada día a las 11:00hs.

Al inicio de la prueba el sujeto entro en calor (EC) corriendo 10 minutos al 65% del VO_2 máximo; luego se lo detuvo durante 2 minutos para registrar la glucemia en sangre, la frecuencia cardiaca y realizar ejercicios de estiramiento. Seguido de esto, ingirió 200ml de solución y comenzó a correr al 80% de su VO_2 máximo, momento en el cual se puso en marcha el cronometro para registrar el tiempo total en que el sujeto podía sostener este ritmo.

Cada 15 minutos se tomo una muestra de sangre para medir la glucemia, inmediatamente de lo cual se le administro por vía oral 200ml de solución y cada 5 minutos se registró la frecuencia cardiaca, (todo esto sin detener su marcha).

La prueba concluía cuando el sujeto no podía mantener el ritmo de carrera, en este momento se tomaba el tiempo transcurrido y se bajaba la velocidad de la cinta ergométrica para que realice una caminata de vuelta a la calma (VC), al cabo de 10 minutos de marcha, se volvía a tomar la glucemia y la frecuencia cardiaca.

El sujeto no realizo actividad física durante las 72hs anteriores a las evaluaciones.

Las comidas previas a las mismas fueron iguales en cada caso:

La noche anterior a las 22:00hs cenó, un plato de pasta (una porción de 120grs; pesado antes de la cocción), con 10ml de aceite de maíz y una manzana.

El día del test a las 8:00hs desayunó, 250ml de leche con 12grs de cacao y 10 galletitas de agua con 50grs de queso cremoso.

Elementos

El tiempo total fue registrado con un cronometro manual (Casio®); la frecuencia cardiaca se registro a través de una cardiotacometro (Polar®), la para la evaluación de la glucemia en sangre se utilizó un aparato de medición manual (Accutrend® sensor) con sus respectivas tiras reactivas (Accutrend® sensor Glucose). Antes de la utilización del aparato se controlo su funcionamiento de acuerdo a como indica su manual y con los elementos que allí se describen (Accutrend® sensor Control L1 y L2; Tira Accutrend® sensor Chek; Tira reactiva Accutrend® sensor Glucose). La carrera se realizo sobre una cinta ergométrica (Star Track®).

RESULTADOS

El VO_2 máximo del sujeto fue de 52,17ml/kg/min. El 80% del VO_2máx. 41,73ml/kg/min, lo que da un velocidad de carrera de 12,3km/h.

El primer test, CON terminó a los 50 minutos, la glucemia media fue de 113,33 ±11,59mg/dl, y la frecuencia cardiaca media 191 ±4,33lat/min.

El segundo test, BIG concluyó a los 56 minutos, esto indica que hubo una incremento en la capacidad de resistencia del 12% en relación a CON, la glucemia media fue de 115,33 ±1,53mg/dl, muy similar a la del primer test, aunque con un desvío estándar mucho menor. La frecuencia cardiaca, fue levemente inferior al test CON, registrándose una media de 189 ±4,40lat/min.

El tercer test, AIG duró mucho más tiempo que los otros, el deportista perduró al 80% de su VO_2 máximo durante 68 minutos; mejorando su capacidad de resistencia en un 21,4% más que BIG y 36% más que CON. Su glucemia media fue la

mayor registrada 169 ±74,20mg/dl, y la que más cambios sufrió en toda la prueba. Sin embargo, su frecuencia cardiaca media fue la más baja 188,92 ±4,44lat/min.

En la Tabla 1, se muestra el registro de la frecuencia cardiaca durante los tres tests. Nótese que la frecuencia cardiaca de los tres tests fueron muy similares en la EC y VC, como así también la frecuencia cardiaca máxima alcanzada.

Test	EC	80% VO_2máx													VC
		5'	*10'*	*15'*	*20'*	*25'*	*30'*	*35'*	*40'*	*45'*	*50'*	*55'*	*60'*	*65'*	
CON	93	175	183	187	188	190	192	194	194	195	196	-	-	-	123
BIG	96	175	182	186	187	188	188	188	190	194	195	196	-	-	125
AIG	95	174	182	184	186	187	188	188	188	188	190	194	195	197	125

Tabla 1.

La frecuencia cardiaca en AIG presento un plateau durante la parte media de la prueba (entre los 30 y 45 minutos), luego de lo cual aumento progresivamente hasta el final de la prueba. Un comportamiento similar se registro en BIG, aunque el plateau fue de menor duración (entre los 25 y 35 minutos). Pero no se registro este comportamiento en CON, donde la frecuencia cardiaca aumento progresivamente desde el comienzo hasta el final de la prueba e incluso fue la que más alta se mantuvo de los tres tests.

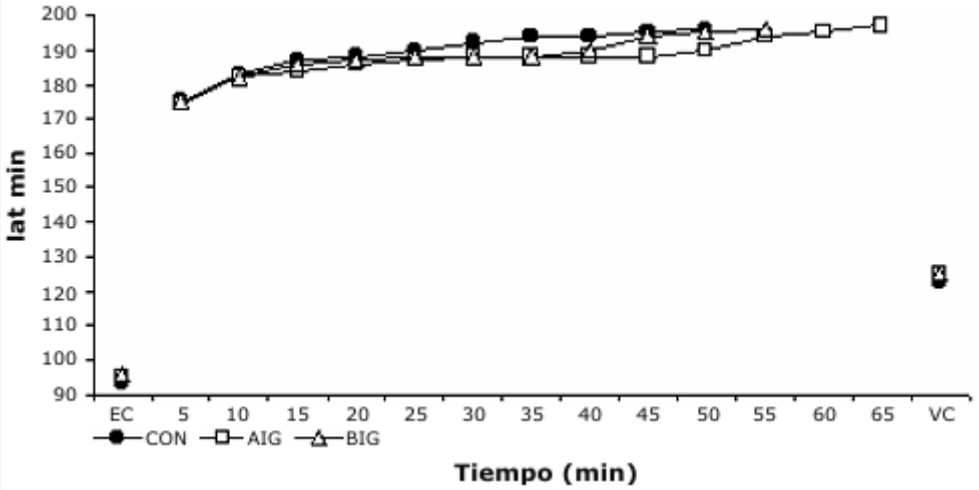


Figura 1. *Evolución de la frecuencia cardiaca, durante cada test.*

En la Tabla 2, se muestra el registro de la glucosa sanguínea durante los tres tests. Como ocurre con la frecuencia cardiaca la glucemia EC es similar en los tres tests; pero no ocurre lo mismo en la VC donde la glucemia es diferente en cada prueba.

Test	EC	80% VO_2máx				VC
		15'	*30'*	*45'*	*60'*	
CON	103	115	124	101	-	100
BIG	104	114	117	115	-	119
AIG	105	159	276	109	132	107

Tabla 2.

En los tres tests, la glucemia a los 15 minutos fue mayor que en la EC y continuó aumentado hasta los 30 minutos; aunque este aumento se dio en mayor proporción con AIG. En las tres pruebas, a los 45 minutos la glucemia descendió, y aunque podría haberse esperado una hipoglucemia de rebote en AIG debido al considerable aumento que había ocurrido a los 30 minutos esto no ocurrió y a los 60 minutos volvió a aumentar aunque en menor medida.

La glucemia de BIG fue la que menos cambios sufrió en el transcurso de la prueba, el registro VC fue el mayor de los tres casos y hasta mayor que el EC (lo que no se vio en los otros test). Esto se debe probablemente a que la fructosa se absorbe más lentamente que la glucosa (2, 28).

Respecto a la glucemia de CON se noto un nivel menor al final del test, el cual relativamente se mantuvo en el registro VC. Tal vez debido a que la degradación de carbohidratos por el músculo se dio a mayor velocidad que su resíntesis (11, 53).

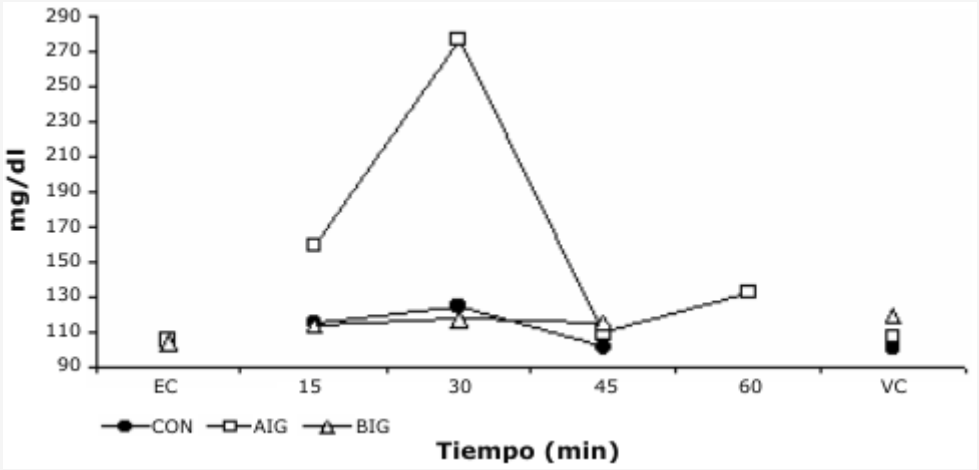


Figura 2. *Evolución de la glucemia, durante cada test.*

Cabe aclarar que el sujeto acusó calambres abdominales a partir de los 25 minutos de iniciado el test, con la ingesta de BIG; esto podría deberse a que su absorción es más lenta (26) ya que no es tan fácilmente oxidada como otros carbohidratos (44).

DISCUSION

Es abundante la bibliografía que trata sobre los efectos de la ingesta de carbohidratos durante la actividad física, pero la gran mayoría de estos trabajos, se han realizado a intensidades medias (< 75-80% VO_2máx.) y con una duración mayor a una hora (5, 7, 10, 15, 16, 21, 46, 59).

Los pocos antecedentes que existen, de autores que han investigado en ejercicios de una hora de duración o menos (3, 31, 36), al igual que el presente trabajo mostraron que la ingesta de carbohidratos tiene un efecto positivo sobre la peformance; lamentablemente aún siguen sin determinarse los mecanismos subyacentes del este (26).

Si se sabe que el ingreso de glucosa exógena en el organismo inhibe la producción de glucosa hepática, aún a alta intensidad del ejercicio (31); pero este dato solo no alcanza para comprender la complejidad de los procesos metabólicos, por lo que se debería seguir investigando al respecto.

Lineamientos para futuras investigaciones: De acuerdo con la American Dietetic Association (1993) se opto por agregar solo un 5% de hidratos de carbono en las soluciones, ya que con esta concentración se evitaría la hipoglucemia producida

por la actividad física y tendría posiblemente un efecto positivo sobre la performance (1, 2, 62); pero los resultados hallados probablemente serian distintos con otras concentraciones.

Ya que el vaciado gástrico varía de acuerdo al nivel de entrenamiento (62), y que la cantidad de GLUT-4 es mayor en el músculo entrenado (39); cabe suponer que los resultados hallados en el presente trabajo, podrían no ser iguales en personas entrenadas y no entrenadas.

Por otra parte, también podrían variar los resultados si se realizara otro tipo de actividad física (distinta al pedestrismo), por ejemplo el ciclismo; ya que el vaciado gástrico es más lento en esta última (62) y la masa muscular involucrada es menor (23).

De este modo quedan abiertas nuevas interrogantes respecto a que efecto tendrían las soluciones de distinto índice glicémico: con otras concentraciones; en sujetos de distinto nivel de entrenamiento; en diversas actividades físicas; etc...

A demás, deberían utilizarse métodos de mayor complejidad para comprender mejor, distintos puntos que no han sido abarcados por el presente trabajo como: el vaciamiento gástrico; la reducción de las reservas de glucógeno muscular y hepática; las alteraciones en los niveles hormonales en sangre (glucagón, insulina, cortisol y catecolaminas); la participación del metabolismo de las grasas; etc.

Aplicaciones practicas: Los resultados hallados indican que los deportistas podrían beneficiarse utilizando soluciones de AIG durante el ejercicio aeróbico de alta intensidad, debido a que, al incrementar su capacidad de resistencia, podría mantenerse corriendo por más tiempo a una alta intensidad (5, 9, 15, 16, 21, 46, 58). Incluso se encontrarían en mejores condiciones de realizar un sprint final (62), debido a que la ingesta de carbohidratos, preservaría por más tiempo sus reservas de glucógeno (6, 26, 31, 35). Paralelamente al incremento de la capacidad de resistencia, se ha registrado una frecuencia cardiaca media, más baja y estable con la ingesta de AIG; esto está relacionado con un menor grado de stress del sistema cardiovascular del deportista (13).

Por otra parte, si estos carbohidratos son ingeridos con líquidos, (tal como se realizó en este trabajo), se estarían previniendo los efectos negativos sobre el organismo y la performance de la deshidratación (1, 26).

CONCLUSION

De acuerdo a los datos obtenidos ha quedado en evidencia que la ingesta de una solución de carbohidratos de alto índice glicémico, durante el ejercicio extenuante de alta intensidad tiene un efecto positivo en la performance, provocando un incremento en la capacidad de resistencia. Retardando la aparición de la fatiga en un 21,4% en comparación con la ingesta de carbohidratos de bajo índice glicémico y un 36% en relación al placebo.

RECONOCIMIENTO

Se agradece la ayuda de la Profesora Rosana Pellenc, quien colaboró tomando las muestras de sangre y registrando los datos durante las pruebas.

ACLARACION

El Lic. Costa Ignacio, no tiene ninguna relación con las empresas que fabrican y/o comercializan los productos mencionados en este artículo.

REFERENCIAS

1. American Dietetic Association (1993). Position of the ADA and CDA. Nutrition for physical fitness and athetic performance for adults. *J. Am. Diet. Assoc. 6: 691-696*
2. Astrand PO, and Rodahl K (1985). Fisiología del trabajo físico. *Ed. Panamericana*
3. Below, PR, Mora-Rodriguez R, Gonzalez-Alonso J, and Coyle EF (1995). Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise. *Med. Sci. Sports Exerc. 27: 200-210*
4. Bergman BC, Horning MA, Casazza GA, Wolfel EE, Butterfield GE, and Brooks GA (2000). Endurance training increases gluconeogenesis during rest and exercise in men. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab. 278: E244-E251*
5. Bosch AN, Dennis SC, and Noakes TD (1994). Influence of carbohydrate ingestion on fuel substrate turnover and oxidation during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol. 76: 2364-2372*
6. Burelle Y, Péronnet F, Charpentier S, Lavoie C, Hillaire-Marcel C, & Massicotte D (1999). Oxidation of an oral [13C]glucose load at rest and prolonged exercise in trained and sedentary subjects. *J. Appl. Physiol. 86 (1): 52-60*
7. Burke LM, Claassen A, Hawley JA and Noakes TD (1998). Carbohydrate intake during prolonged cycling minimizes effect of glycemic index of preexercise meal. *J. Appl. Physiol. 85 (6): 2220-2226*
8. Chryssanthopoulos C, Hennessy LM, and Williams C (1994). The influence of preexercise glucose ingestion on endurance running capacity. *Br. J. Sports Med. 28: 105-109*
9. Coggan AR, and Coyle EF (1988). Effect of carbohydrate feedings during high-intensity exercise. *J. Appl. Physiol. 65: 1703-1709*
10. Coggan, AR, and Coyle EF (1987). Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion. *J. Appl. Physiol. 63: 2388-2395*
11. Constantin-Teodosiu D, Cederblad G, and Hultman E (1992). PDC activity and acetyl group accumulation in skeletal muscle during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol. 73: 2403-2407*
12. Cox JH, Cortright RN, Dohm GL, and Houmard JA (1999). Effect of aging on response to exercise training in humans: skeletal muscle GLUT-4 and insulin sensitivity. *J. Appl. Physiol. 86: 2019-2025*
13. Coyle EF (2000). Physical activity as a metabolic stressor. *Am. J. Clin. Nutr. 72 (suppl): 512S-520S*
14. Coyle EF (1995). Substrate utilization during exercise in active people. *Am. J. Clin. Nutr. 61 (suppl): S968-S979*
15. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, and Ivy JL (1986). Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J. Appl. Physiol. 61: 165-172*
16. Coyle EF, Hagberg JM, Hurley BF, Martin WH, Ehsani AA, and Holloszy JO (1983). Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *J. Appl. Physiol. 55 (1): 230-235*
17. Dela F, Ploug T, Handberg A, Mikines KJ, Vinten J, and Galbo H (1993). GLUT4 and insulin receptor binding and kinase activity in trained human muscle. *J. Physiol. (Lond) 469: 615-624*
18. Dela F, Ploug T, Handberg A, Petersen LN, Larsen JJ, Mikines KJ, and Galbo H (1994). Physical training increases muscle GLUT4 protein and mRNA in patients with NIDDM. *Diabetes. 43: 862-865*
19. Febbraio MA, Chiu A, Angus DJ, Arkinstall MJ, and Hawley JA (2000). Effects of carbohydrate ingestion before and during exercise on glucose kinetics and performance. *J. Appl. Physiol. 89: 2220-2226*
20. Febbraio MA, Keenan J, Angus DJ, Campbell SE, and Garnham AP (2000). Preexercise carbohydrate ingestión, glucose kinetics and muscle glycogen use: effect of the glycemic index. *J. Appl. Physiol. 89: 1845-1851*
21. Fritzsche, RG, Switzer TW, Hodgkinson BJ, Lee SH, Martin JC, and Coyle EF (2000). Water and carbohydrate ingestion during prolonged exercise increase maximal neuromuscular power. *J. Appl. Physiol. 88: 730-737*
22. Foster-Powell K, Holt SHA, and Brand-Miller JC (2002). International table of glycemic index and glycemic load values. *Am. J. Clin. Nutr. 76: 5-56*
23. Foster-Powell K, Miller JB (1995). International Tables of Glycemic Index. *Am. J. Clin. Nutr. 62: 871S-893S*
24. Franceschi S, Dal ML, Augustin L, et al (2001). Dietary glycemic load and colorectal cancer risk. *Ann. Oncol.12:173-178*
25. Gulve EA and Spina R (1995). Effect of 7□10 days of cycle ergometer exercise on skeletal muscle GLUT-4 protein content. *J. Appl. Physiol. 79: 1562-1566*
26. Hargreaves M (1999). Ingesta de Carbohidratos y ejercicio: efectos sobre el metabolismo y la performance. *Sport Science Exchange. 12 (4): 1-4*
27. Houmard JA, Hickey MS, Tyndall GL, Gavigan KE, and Dohm GL (1995). Seven days of exercise increase GLUT-4 protein content in human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol. 79: 1936-1938*
28. Houmard JA, Shinebarger MH, Dolan PL, Leggett-Frazier N, Bruner RK, McCammon MR, Israel RG, and Dohm GL (1993). Exercise training increases GLUT-4 protein concentration in previously sedentary middle-aged men. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab. 264: E896-E901*
29. Houssay BA, Caldeyro-Barcia R, Covian MR, De Soldati L, Fasciolo JC, Foglia VG, Garcia Austt E, Gutnisky A, Hug E, y Nacimiento AC (1980). Fisiología humana. *Ed. El Ateneo*
30. Hughes VA, Fiatarone MA, Fielding RA, Kahn BB, Ferrara CM, Shephard P, Fisher EC, Wolfe RR, Elahi D, and Evans WJ (1993). Exercise increases muscle GLUT-4 level and insulin action in subjects with impaired glucose tolerance. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab. 264: E855-E862*
31. Howlett, K, Angus D, Proietto J, and Hargreaves M (1998). Effect of increased blood glucose availability on glucose kinetics during exercise. *J. Appl. Physiol. 84 (4): 1413-1417*
32. Howlett, K, Febbraio M, and Hargreaves M (1999). Glucose production during strenuous exercise in humans: role of epinephrine. *Am. J. Physiol. 276 (Endocrinol. Metab. 39): E1130-E1135*
33. Jenkins DJ, Wolever TM, Buckley G, Lam KY, Giudici S, Kalmusky J, Jenkins AL, Patten RL Bird J, and Wong GS (1998). Low-glysemic-index starchy foods in the diabetic diet. *Am. J. Clin. Nutr. 48 (2): 248-254*

34. Jenkins DJ, Wolever TM, and Taylor RH (1981). Glysemic index of food: a physiologic basis for carbohydrate exchange. *Am. J. Clin. Nutr. 34: 362-366*
35. Jeukendrup AE, Borghouts L, Saris WHM, and Wagenmakers AJM (1996). Reduced oxidation rates of orally ingested glucose during exercise after low CHO intake and low muscle glycogen. *J. Appl. Physiol. 81: 1952□1957*
36. Jeukendrup AE, Brouns F, Wagenmakers AJM, and Saris WHM (1997). Carbohydrate-electrolyte feeding improve 1h time trial cycling performance. *Int. J. Sports Med. 18: 125-129*
37. Jeukendrup AE, Saris WHM, and Wagenmakers AJM (1998). Fat metabolism during exercise. *A review- Part I. Int. J. Sports Med. 19, 232-244*
38. Kirwan JP, O'Gorman D, and Evans WJ (1998). A moderate glycemic meal before endurance exercise can enhance performance. *J. Appl. Physiol. 84 (1): 53-59*
39. Kristiansen S, Gade J, Wojtaszewski JFP, Kiens B, and Richter EA (2000). Glucose uptake is increased in trained vs. untrained muscle during heavy exercise. *J. Appl. Physiol. 89: 1151-1158*
40. Liu S, Willett W, Stampfer M, et al (2000). A prospective study of dietary glycemic load, carbohydrate intake, and risk of coronary heart disease in US women. *Am. J. Clin. Nutr. 71: 1455-1461*
41. Ludwig D (2000). Dietary glycemic index and obesity. *J. Nutr. 130: 280S□283S*
42. Manore MM (2004). Usando el índice glicémico para mejorar el rendimiento atlético. *Sport Science Excange 15 (1): 1-3*
43. Marmy-Conus N, Fabris S, Proietto J, and Hargreaves M (1996). Preexercise glucose ingestión and glucose kinetics during exercise. *J. Appl. Physiol. 81: 853-857*
44. Massicotte D, Péronnet F, Brisson G, Bakkouch K, & Hillaire-Marcel C (1989). Oxidation of a glucose polymer during exercise: comparation with glucose and fructose. *J. Appl. Physiol. 66: 179-183*
45. Melanson EL, Sharp TA, Seagle HM, Horton TJ, Donahoo WT, Grunwald GK, Hamilton JT, and Hill JO (2002). Effect of exercise intensity on 24-h energy expenditure and nutrient oxidation. *J. Appl. Physiol. 92: 1045-1052*
46. McConell G, Snow RJ, Proietto J, and Hargreaves M (1999). Muscle metabolism during prolonged exercise in humans: influence of carbohydrate availability. *J. Appl. Physiol. 87 (3): 1083-1086*
47. Murray RK, Granner DK, Mayes PA and Rodwell VW (1997). Bioquímica de Harper. *Ed. El Manual Moderno*
48. Phillips SM, Han X-X, Green HJ, and Bonen A (1996). Increment in skeletal muscle GLUT-1 and GLUT-4 after endurance training in humans. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab. 270: E456-E462*
49. Ploug T, Stallknecht BM, Pederson O, Kahn BB, Ohkuwa T, Vinten J, and Galbo H (1990). Effect of endurance training on glucose transport capacity and glucose transporter expression in rat skeletal muscle. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab. 259: E778-E786*
50. Ramires, P R, Forjaz CLM, Strunz CMC, Silva MER, Diament J, Nicolau W, Liberman B, and Negrao CE (1997). Oral glucose ingestion increases endurance capacity in normal and diabetic (type I) humans. *J. Appl. Physiol. 83 (2): 608-614*
51. Richter EA, Kiens B, Saltin B, Christensen NJ, and Savard G (1988). Skeletal muscle glucose uptake during dynamic exercise in humans: role of muscle mass. *Am. J. Physiol. 254 (Endocrinol. Metab. 17): E555-E561*
52. Romijn, JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, and Wolfe RR (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am. J. Physiol. 265 (Endocrinol. Metab. 28): E380-E391*
53. Sahlin K, Katz A, and Broberg S (1990). Tricarboxylic acid cycle intermediates in human muscle during prolonged exercise. *Am. J. Physiol. 259 (Cell Physiol. 28): C834-C841*
54. Salmeron J, Ascherio A, Rimm E, et al (1997). Dietary fibre, glycemic load, and risk of NIDDM in men. *Diabetes Care. 20:545-550*
55. Salmeron J, Manson J, Stampfer M, Colditz G, Wing A, Willett W (1997). Dietary fibre, glycemic load, and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women. *JAMA. 277: 472-477*
56. Tabata I, Suzuki Y, Fukunaga T, Yokozeki T, Akima H, and Funato F (1999). Resistance training affects GLUT-4 content in skeletal muscle of humans after 19 days of head-down bed rest. *J. Appl. Physiol. 86: 909-914*
57. Tatsuya H, Wojtaszewski JFP, and Goodyear LJ (1997). Exercise regulation of glucose transport in skeletal muscle. *Am. J. Physiol. 273 (Endocrinol. Metab. 36): E1039-E1051*
58. Tsintzas OK, Williams C, Boobis L, and Greenhaff P (1996). Carbohydrate ingestion and single muscle fiber glycogen metabolism during prolonged running in men. *J. Appl. Physiol. 81: 801-809*
59. Van Loon LJC, Jeukendrup AE, Saris WHM, and Wagenmakers AJM (1999). Effect of training status on fuel selection during submaximal exercise with glucose ingestion. *J. Appl. Physiol. 87 (4): 1413-1420*
60. Willett W, Manson JA, and Liu S (2002). Glycemic index, glycemic load, and risk of type 2 diabetes. *Am. J. Clin. Nutr. 76 (suppl): 274S-280S*
61. Williams C, Brewer J, and Walker M (1991). The effect of a high carbohydrate diet on running performance during a 30-km treadmill time trial. *Eur. J. Appl. Physiol. 71: 1082-1088*
62. Wilmore JH and Costill DL (1999). Fisiología del esfuerzo y del deporte. *Ed. Paidotribo*
63. Wolever TM, Jenkins DJ, Jenkins Al, and Josse RG (1991). The glysemic index: methodology and clinical implications. *Am. J. Clin. Nutr. 54 (5): 846-854*
64. Wright DA, Sherman WM, and Dernbach AR (1991). Carbohydrate feedings before, during, or in combination improve cycling endurance performance. *J. Appl. Physiol. 71: 1082-1088*