

## EL EJERCICIO FÍSICO Y EL SISTEMA INMUNOLÓGICO: UNA REVISIÓN DE LAS INVESTIGACIONES MÁS RECIENTES EN ESTE CAMPO

*José Moncada Jiménez*

### Introducción

La inmunología es una disciplina científica relativamente nueva. Esta tiene como principal misión comprender el funcionamiento de los mecanismos de defensa del organismo contra sustancias o cuerpos extraños, es decir, para reconocer lo que es propio del organismo de lo que simplemente no lo es (Lomonte, 1998). De acuerdo con Nieman y Bernardot (1999), aproximadamente 80% de los aproximadamente 1000 artículos en inmunología del ejercicio han sido publicados desde 1990 hasta 1999, por lo que se supone la aparición y desarrollo de un nuevo campo de estudio relacionado con la salud. Por supuesto, Nieman y Bernardot (1999) incluyeron en su estudio únicamente aquellos artículos publicados en el idioma inglés. En Costa Rica, por otra parte, se cuenta solamente con un artículo muy reciente que se refiere a la respuesta del sistema inmune de los adolescentes como resultado al estímulo del ejercicio físico (González y Aragón, 1998). Por esta razón, en esta revisión de literatura se pretende informar y actualizar a los profesionales en el campo de la educación y de la salud acerca de la relación entre el ejercicio físico y el sistema inmunológico. Para ello, se han seleccionado diversos tipos de estudios provenientes de revistas de prestigioso renombre en el área de las ciencias del movimiento humano y la salud. Estos estudios han sido llevados a cabo en adultos jóvenes, de sexo masculino, y en la mayoría de los casos en atletas, por lo que los resultados deben interpretarse en el contexto apropiado y

**Resumen:** *En esta revisión de literatura se destacan aspectos relevantes relacionados con la respuesta del sistema inmunológico ante los estímulos de la actividad física y el ejercicio. A pesar de que la inmunología deportiva es una disciplina relativamente novedosa, desde hace aproximadamente 10 años se han llevado a cabo estudios experimentales muy reveladores. Algunos investigadores han llegado a concluir que ejercitarse o realizar actividades físicas de intensidad moderada y por cortos períodos de tiempo, podrían ser factores claves que inciden positivamente en el funcionamiento del sistema inmunológico. Ya que este campo de estudio es novedoso en el contexto costarricense, se recomienda llevar a cabo estudios experimentales y longitudinales que permitan determinar los mecanismos que regulan el sistema inmunológico de las personas de diversos grupos étnicos que practican actividades físicas. Equipos de trabajo interdisciplinarios (e.g., científicos del movimiento humano, médicos, nutricionistas, microbiólogos) serían los encargados principales de llevar a cabo éstas investigaciones.*

no deberían generalizarse a poblaciones distintas como niños, mujeres o adultos mayores.

Para una mayor claridad para el lector, la revisión se ha subdividido en las siguientes secciones: (a) generalidades del sistema inmunológico y del ejercicio físico; (b) diferencias en el funcionamiento inmune en atletas y no atletas; (c) cambios inmunológicos agudos después del ejercicio de alta intensidad y larga duración; (d) cambios inmunológicos agudos después del ejercicio de intensidad moderada; (e) las inmunoglobulinas y el ejercicio físico; y (f) la nutrición y el sistema inmune.

### Generalidades del sistema inmunológico y del ejercicio físico

El sistema inmunológico funciona bajo premisas que podrían considerarse muy simples; sin embargo, su funcionamiento y coordinación son absolutamente complejas. La inmunidad está relacionada con el reconocimiento y la eliminación de todo material extraño que pueda penetrar el organismo, ya sea para amenazarlo (e.g., enfermedad) o para beneficiarlo (e.g., trasplante) (Playfair, 1983). Sin embargo, la característica más sobresaliente del sistema inmunológico es su capacidad para distinguir lo propio de lo que no es propio, en un esfuerzo por mantener la homeostasis o equilibrio del organismo (Campbell, 1995; Mackinnon, 1992): Esta habilidad le permite al sistema inmune reconocer y destruir patógenos o agentes causantes de enfermedades. Se sabe además, que varios tipos de estímulos estresores, incluyendo el ejercicio físico y el estrés emocional, pueden influir sobre el funcionamiento inmune (Jonsdottir, Hoffman, y Thoren, 1997).

Actualmente, se maneja dos conceptos de inmunidad: a) la inmunidad natural o inespecífica; y b) la inmunidad específica o adquirida (Lomonte, 1998). La inmunidad natural o innata, la cual está presente desde el nacimiento, representa una primera barrera de defensa contra las infecciones producidas por los miles de tipos de virus y para combatir la actividad destructora de células productoras de tumores (Lomonte, 1998). Este sistema inmunológico innato está influenciado por el ejercicio físico que se practica regu-

larmente (i.e., ejercicio crónico); y su regulación incluye la interacción entre los sistemas nervioso, endocrino, y a la vez, el inmunológico.

De acuerdo con Lomonte (1998), el sistema inmune específico es el producto de la evolución del hombre, y presenta mecanismos más elaborados que los del innato. Además, presenta la capacidad para mostrar respuestas inmunes cada vez mayores, por lo que se dice que se adapta al medio. Es sumamente importante señalar que ambos sistemas actúan cooperativamente, por lo que de ninguna manera son excluyentes.

Las mediciones de los parámetros inmunológicos se llevan a cabo generalmente en sangre (Tabla 1), aunque también se pueden medir en otros líquidos corporales como la saliva. Para facilitar la comprensión del texto, se recomienda repasar las definiciones del Anexo 1 y consultar el texto de Lomonte (1998), que expone una excelente introducción al campo de la inmunología.

Tabla 1  
Componentes celulares de la sangre

Componente	Función	Valores anormales
Células rojas	Transporte de O <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub>	↓: anemia ↑: policitemia
Leucocitos ó células blancas:		
Neutrófilos	Fagocitosis	↑: infección bacterial, inflamación
Eosinófilos	Respuesta alérgica	↑: infección parasitaria
Basófilos	Prevención de coagulación	
Linfocitos	Produce anticuerpos y destruye células extrañas	↑: leucemia, infecciones virales
Monocitos	Se convierten en macrófagos	↑: tuberculosis infecciones micóticas

Fuente: Tortora, G. J., y Evans, R. L. *Principles of human physiology* (2nd ed.). New York, EEUU: Harper & Row, 1986.

Por otra parte, en las ciencias del movimiento humano se utilizan los conceptos de intensidad y duración para describir la magnitud del esfuerzo físico que se requiere para ejecutar determinado ejercicio o actividad física. Es así como las actividades físicas pueden clasificarse como de baja, moderada, y alta intensidad; y como de corta, media y larga duración. Además, se pueden hacer todas las combinaciones posibles entre estos conceptos (e.g., baja intensidad y larga duración).

De acuerdo con McArdle, Katch y Katch (1996), para realizar una actividad física, se requiere gastar cierta cantidad de energía, y para medir este gasto se utiliza un parámetro fisiológico llamado consumo de oxígeno ( $VO_2$ ). El  $VO_2$  cual es un indicador de la cantidad de oxígeno que utiliza el cuerpo pueda completar una tarea; es decir, para medir la eficiencia del organismo. Con base en este parámetro, Bouchard, Stephens, y Shephard (1994) sugirieron una clasificación del ejercicio de acuerdo al  $VO_2$  de la siguiente manera: a) baja intensidad (10 – 35%  $VO_{2m\acute{a}x}$ ); b) moderada intensidad (60 – 70%  $VO_{2m\acute{a}x}$ ); y c) alta intensidad (80 – 90%  $VO_{2m\acute{a}x}$ ). De manera similar, existe un consenso que indica que las actividades físicas pueden catalogarse como de corta duración (1 – 25 min); media duración (30 - 40 min); y larga duración (> 1 h) (McArdle *et al.*, 1996).

Cuando se ha utilizado el ejercicio físico en los estudios sobre inmunología, se han llevado a cabo dos tipos de estudios. El primero de ellos se refiere a las respuestas del sistema inmune como resultado de una sólo sesión de ejercicios, a lo cual se le llama ejercicio agudo. El segundo tipo de estudios se refieren al efecto del entrenamiento (i.e., varias sesiones de ejercicios) sobre la respuesta inmune. A este tipo de estudios se les llama de efecto crónico.

Con este panorama, se puede notar que existe un amplio espectro de intensidades y duraciones que se pueden manipular para producir un efecto agudo o crónico sobre el sistema inmune. Es por ello que se ha utilizado el ejercicio físico como agente estresor para determinar cómo puede afectar el sistema inmunológico en personas sedentarias como en atletas.

## **Diferencias en el funcionamiento inmune en atletas y no atletas**

El sistema inmunológico de los atletas y los no atletas (a menudo personas sedentarias) es muy similar cuando se mide en estado de reposo (Nieman y Bernardot, 1999). Sin embargo, Nieman y Pedersen (1999) mencionan que la comparación del funcionamiento inmune en atletas y no atletas demuestra que la inmunidad adquirida no se ve afectada enormemente por el esfuerzo físico, es decir, es muy parecido entre ambos. Por su parte, la inmunidad innata parece responder de manera diferencial al estrés crónico del ejercicio intenso, con una tendencia de mejorar la actividad de las células asesinas naturales (células NK), mientras que se suprime o se reduce el funcionamiento de los neutrófilos (Nieman y Pedersen, 1999). Es decir, el sistema inmunológico funciona mejor en los atletas o personas que realizan ejercicio físico de manera regular.

Sin embargo, aún cuando se han observado cambios significativos en el nivel y la actividad funcional de las células del sistema inmunológico en los atletas, los investigadores han tenido poco éxito para relacionar éstos con una mayor incidencia de infecciones y enfermedades (Nieman y Bernardot, 1999; Nieman y Pedersen, 1999). Por tal motivo, se podría concluir que los estudios son hasta el momento controversiales y que no se puede llegar a una conclusión enérgica acerca del funcionamiento del sistema inmune de los atletas y no atletas.

## **Cambios inmunológicos agudos después del ejercicio de alta intensidad y larga duración**

Los mecanismos centrales de la respuesta inmune incluyen la liberación de las sustancias llamadas opioides endógenos. Se sabe que la activación constante y repetida (i.e., crónica) de los sistemas opioides endógenos logra aumentar la citotoxicidad natural, es decir, los mecanismos naturales que se encargan de defender nuestro organismo contra el ataque de un agente patógeno. Pareciera

también que las catecolaminas como la adrenalina y la nor-adrenalina juegan un papel importante en la regulación del sistema inmunológico, tanto después del ejercicio crónico como durante el estrés emocional; sin embargo, los mecanismos específicos de esta respuesta aún se encuentran bajo investigación (Jonsdottir, Hoffman, y Thoren, 1997).

Existe una creciente evidencia científica que señala que varios componentes del sistema inmune, tanto del innato (e.g., fagocitos, complemento), como del adquirido (e.g., linfocitos T y B, anticuerpos), exhiben una supresión o reducción por varias horas, luego de haber ejecutado ejercicios de alta duración (> 1 h) e intensidad (80%  $VO_{2m\acute{a}x}$ ), como por ejemplo, correr media maratón. Esta respuesta del sistema inmune a un tipo ejercicio tan pesado es afortunadamente transitoria; sin embargo, se requiere mucha más investigación antes de llegar a conclusiones contundentes acerca de los mecanismos que intervienen en la respuesta.

Como se ha mencionado, algunos componentes del sistema inmune podrían suprimirse o reducirse significativamente luego de que una persona hubiese ejecutado ejercicio extenuante durante un periodo de tiempo prolongado. Nieman y Bernardot (1999) mencionan que durante este período de "*ventana abierta*" de inmunosupresión, que puede durar entre 3 y 72 horas dependiendo del parámetro inmunológico medido; los virus y las bacterias pueden ganar terreno, aumentando de esta manera el riesgo para adquirir infecciones que podrían clasificarse como clínicas (i.e., requieren internamiento) y subclínicas. A pesar de ello, los investigadores no han podido llevar a cabo investigaciones que demuestren que los atletas inmunosuprimidos después de haber ejecutado ejercicio extenuante son aquellos que contraen una infección durante las siguientes 1 ó 2 semanas, por lo que se requieren estudios longitudinales. Por lo anterior, Nieman y Pedersen (1999), mencionan que ésa relación debe ser establecida antes de que la teoría de la *ventana abierta* pueda aceptarse completamente.

Debido a las nefastas consecuencias de la supresión del sistema inmune, en el

ambiente deportivo de alto rendimiento se ha observado la aparición de estrategias para atenuar la respuesta inmune después de realizar ejercicio extenuante y poder así, teóricamente, reducir el riesgo de adquirir alguna infección. Estas estrategias, de uso cada vez más común, han incluido desde el uso de sustancias químicas (e.g., indometacina, glutamina), hasta el planeamiento de estrategias nutricionales (e.g., vitamina C, suplementación con carbohidratos) (Nieman, 1998a,b). Debido a este panorama, se debe garantizar mayor investigación en el área de la suplementación nutricional en el deporte, ya que no se conocen las consecuencias a largo plazo del uso crónico de muchas sustancias, lo cual evidentemente, podría llegar a convertirse en un problema de salud y educación pública.

### **Cambios inmunológicos agudos después del ejercicio de intensidad moderada**

En estudios sobre la influencia del entrenamiento de intensidad moderada sobre el funcionamiento inmune, se ha demostrado que las caminatas vigorosas, llevadas a cabo casi diariamente, comparadas con la inactividad, redujeron a la mitad el número de días de incapacidad o malestares en un período de 12 a 15 semanas. En el grupo de personas estudiadas, no existieron diferencias significativas en el sistema inmune en condiciones de reposo. Es decir, aquellas personas que caminaron a un ritmo moderado fueron menos susceptibles a una infección que las personas que no realizaron actividad física.

Los efectos positivos en la alerta del sistema inmune que acompañan al ejercicio moderado, posiblemente están relacionados con un efecto adictivo de los cambios agudos positivos que ocurren durante cada sesión de ejercicios. En otras palabras, cada sesión de ejercicios llevados a cabo a una intensidad moderada le brindarían a una persona un efecto protector contra las enfermedades. Sin embargo, para Nieman y Pedersen (1999), hasta el momento no existe información contundente que

demuestre que el ejercicio moderado está ligado con mejores conteos en ciertas células del sistema inmune, como por ejemplo las células T colaboradoras, en personas con el virus de inmunodeficiencia humana (VIH), o con un sistema inmune mejorado en personas envejecientes, por lo que se sugiere llevar a cabo más estudios.

### **Las inmunoglobulinas y el ejercicio físico**

De acuerdo con Nieman (1997, 1998a), y Mackinnon y Jenkins (1993), los estudios epidemiológicos sugieren que los atletas que participan en eventos de larga duración (e.g., maratón) tienen mayor riesgo de adquirir infecciones en las vías respiratorias superiores (IVRS) (e.g., resfríos, dolores de garganta), como resultado de altos volúmenes de entrenamiento exhaustivo (i.e., alta intensidad, larga duración). Estos síntomas generalmente llegan a manifestarse durante la primera y segunda semana después de la competencia. Por otro lado, como se mencionó anteriormente, el ejercicio de intensidad moderada ha sido asociado con una reducción en la incidencia de IVRS.

De acuerdo con Mackinnon y Jenkins (1993), el sistema inmune de las mucosas protege las superficies de los tractos respiratorio y gastrointestinal que se encuentran expuestos al ambiente, es decir, todo lo que respiramos y comemos pueden ser fuentes potenciales para que, por ejemplo, las bacterias y los cientos de tipos diferentes de virus, ingresen y ataquen nuestro organismo. A este sistema inmune de las mucosas se le considera como la primera barrera para evitar las infecciones de los microorganismos que causan las IVRS. Es así como este sistema secreta sustancias llamadas inmunoglobulinas (Ig), entre las que se encuentra la inmunoglobulina A (IgA), la cual es un tipo de Ig frecuentemente estudiada. La IgA es la inmunoglobulina predominante que aparece en las secreciones de sistema inmune de las mucosas; sin embargo cabe señalar que también se secre-

tan otras Ig, como por ejemplo la IgG y la IgM (Lomonte, 1998). Ciertamente se podría decir que la IgA es de las Ig más importantes, ya que no permite que los organismos patógenos se unan y se repliquen, por lo que previene la formación de colonias de estos patógenos. Además, se sabe que la IgA también es capaz de neutralizar toxinas y ciertos tipos de virus.

En el contexto del ejercicio físico, Tharp y Barnes (1990) observaron que el de larga duración disminuía la concentración de IgA contenidas en las secreciones de las mucosas (e.g., saliva, líquidos nasales) y que ésta reducción podía mantenerse aún durante varias horas después de haber ejecutado ejercicios de alta intensidad y larga duración. Es por ello que se ha pensado que la alta incidencia de IVRS en los atletas que participan en deportes de resistencia (e.g., maratón, natación de largas distancias), podría estar relacionada con los cambios en las concentraciones de IgA inducidas por el ejercicio. Por otra parte, se ha especulado que la alta intensidad, y no necesariamente la duración del ejercicio, es la principal causa de las reducciones en la secreción de Ig después del ejercicio. Se ha observado también que tanto la reducida capacidad para producir saliva, así como la reducida capacidad para secretar IgA de parte de las mucosas, podrían ser las causantes de una mayor susceptibilidad de los atletas para adquirir IVRS después de haber realizado ejercicio de corta duración y alta intensidad (Mackinnon y Jenkins, 1993).

Los mecanismos fisiológicos que explican la respuesta de las Ig están siendo estudiados actualmente. En estos estudios los investigadores pretenden establecer cuál es el mecanismo responsable de la supresión en la secreción de la IgA después del ejercicio de alta intensidad. Aunque se haya pensado que la secreción de saliva es un factor que determina las concentraciones de IgA, tampoco está claro cuáles mecanismos son los responsables de la reducción en la producción de saliva. Lo que sí está claro, es que la regulación de la salivación es un proceso complejo que incluye control del sistema nervioso

simpático y parasimpático, y que pareciera que no está regulado precisamente por la actividad de las hormonas estresoras circulantes (e.g., catecolaminas). El mayor tono simpático que se esperaría durante el ejercicio intenso es el encargado de reducir el flujo y el volumen de saliva, ya que limita el contenido de agua en ésta (Brooks, Fahey, y White, 1998).

También se ha pensado que las señales de los centros superiores del sistema nervioso central pueden reducir el flujo de saliva, como por ejemplo durante episodios de ansiedad o tensión, mecanismos psicológicos comunes en atletas. De manera similar, los estímulos simpáticos causan vasoconstricción de las arteriolas dentro de las glándulas salivares, las cuales pueden contribuir con una reducción en el flujo de saliva. Finalmente, el flujo de saliva disminuye como respuesta al aumento en la sangre de las concentraciones de la hormona antidiurética (ADH), lo cual puede ocurrir durante ejercicio intenso.

En resumen, las inmunoglobulinas son marcadores muy útiles para comprender la respuesta inmune durante el ejercicio. Estas sustancias son relativamente fáciles de medir pues se requieren pequeñas cantidades de líquidos corporales (e.g., saliva). El único inconveniente es que durante el ejercicio intenso puede haber una menor secreción de saliva, lo que afecta negativamente tanto el flujo como la concentración de éstas sustancias para su posterior análisis.

### **La nutrición y el sistema inmune**

Se sabe que una adecuada nutrición es vital para el desarrollo y mantenimiento del organismo humano. Sin embargo, no se conoce claramente el papel que juegan los suplementos nutricionales para atenuar los cambios inmunológicos producidos por el ejercicio. La influencia de los suplementos nutricionales en la respuesta inmune aguda al ejercicio prolongado ha sido estudiada básicamente en atletas de resistencia (e.g., maratonistas). Los suplementos más comúnmente estudiados han sido el zinc, la vitamina C, la glutamina, y los carbohidratos (CHO) (Nieman y Bernardot, 1999; Nieman y Pedersen, 1999). Se ha estudiado mucho la vi-

tamina C y la glutamina, sin embargo no se ha llegado a conclusiones contundentes que pudiesen extrapolarse a otras poblaciones (Nieman, Henson, Butterworth, Warren, Davis, Fagoaga, y Nehlsen-Cannarella, 1997).

De acuerdo con Nieman (1998b), anteriormente ya se había establecido que una reducción en los niveles de glucosa sanguínea estaba relacionada con una activación hipotalámica-pituitaria-adrenal, una alta liberación de la hormona adrenocorticotrófica y el cortisol, aumentos en los niveles plasmáticos de la hormona del crecimiento, reducciones en la insulina, y efectos variables en los niveles de adrenalina sanguíneos. Sin embargo, para Nieman (1998b), los resultados más impresionantes han sido obtenidos con la suplementación con CHO.

Recientemente, Henson *et al.* (1998) estudiaron el efecto de la ingesta de CHO en la respuesta proliferativa de los linfocitos y la respuesta hormonal. Henson *et al.* (1998) investigaron los efectos de consumir 6% de CHO en 30 maratonistas experimentados que corrieron a alta intensidad por 2.5 h. Los autores reportaron diferencias significativas en la respuesta de las células T entre el grupo placebo y el grupo que ingirió CHO, con el grupo placebo mostrando un aumento superior en la concentración de las células T inmediatamente después de la carrera y una mayor reducción 3 h después de la carrera. La respuesta de la glucosa y el cortisol también fue diferente entre los grupos, con valores de glucosa menores y valores de cortisol mayores en el grupo placebo inmediatamente después de la carrera. Para Henson *et al.*, los datos apoyan un efecto interactivo de la ingesta de CHO en los valores plasmáticos de la glucosa y el cortisol.

En otros estudios, se ha encontrado que la ingesta de bebidas que contienen CHO está asociada con mayores niveles de glucosa plasmática, una reducción en la respuesta del cortisol y la hormona del crecimiento, menores perturbaciones en el conteo de las células sanguíneas del sistema inmune, menor capacidad de fagocitosis de los granulocitos y los monocitos, y menor respuesta oxidativa, además de una reducción en la respuesta pro- y anti-inflamatoria de las citoquinas (Nehlsen-Cannarella

et al., 1997; Nieman, Fagoaga, Butterworth, Warren, Utter, Davis, Henson, y Nehlsen-Cannarella, 1997; Nieman et al., 1997; Nieman, Nehlsen-Cannarella, Fagoaga, Henson, Utter, Davis, Williams, y Butterworth, 1998a, 1998b).

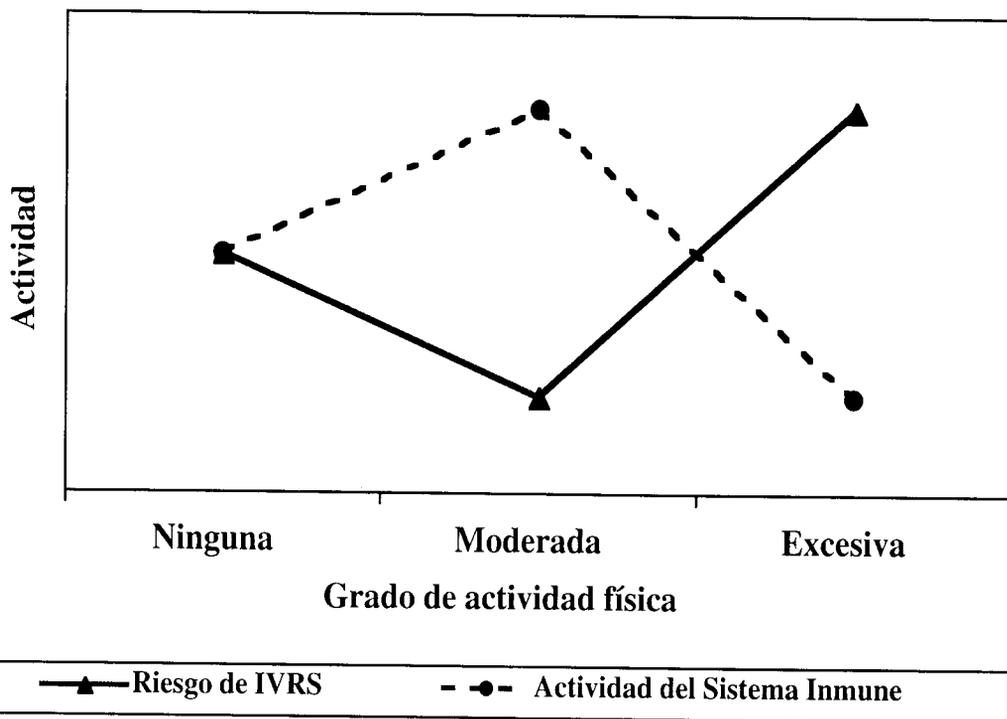
Para Nieman y Bernardot (1999), en general, estos datos indican que el estrés fisiológico del sistema inmune disminuye cuando los atletas de resistencia ingieren bebidas que contienen CHO, antes, durante y después del ejercicio intenso y prolongado. Por otra parte, Nieman y Pedersen (1999) mencionan que todavía queda por responder la pregunta de si la suplementación con CHO disminuye la frecuencia de infecciones durante el periodo de recuperación luego de ejercicios extenuantes, por lo que se evidencia una vez más la necesidad de realizar estudios de corte longitudinal en grupos de atletas.

## Conclusión

La evidencia científica obtenida de las investigaciones revisadas, indica que el sistema inmunológico se ve afectado por el ejercicio físico, y que la respuesta inmune depende en gran medida de la intensidad y la duración del esfuerzo. Esta suposición ha sido descrita como la hipótesis de la "J" invertida (Woods, Davis, Smith, y Nieman, 1999) (Figura 1), en la que pareciera que el ejercicio intenso y prolongado sería el responsable de una supresión del sistema inmune que haría que los atletas tuvieran una mayor incidencia de casos de infecciones y enfermedades; mientras que por otro lado el ejercicio moderado sería capaz de mejorar o brindar un efecto protector al sistema inmune.

**Figura 1**

Modelo del grado de actividad del sistema inmunológico y el riesgo para adquirir infecciones en las vías respiratorias superiores (IVRS) a medida que se progresa la cantidad del ejercicio físico.



Modificado de: Woods et al. Exercise and innate immune function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(1), 57-66. 1999.

A pesar de ello, pareciera que la intensidad con la que se lleva a cabo el ejercicio es el factor más importante que influye en la respuesta inmune y no así, la duración de la actividad. Es por ello que queda por dilucidar muchos cuestionamientos e inconsistencias encontradas en los estudios, así como los mecanismos que regulan la respuesta inmune en una amplia gama de poblaciones, como por ejemplo en niños y en el adulto mayor. También queda por estudiar el papel que jugaría una combinación de suplementos nutricionales y no sólo la utilización de uno de ellos en particular, ya que en algunos casos los productos (i.e., vitaminas, suplementos) podrían tener un efecto antagonista con otras sustancias.

Finalmente, las personas deben captar el mensaje de esta revisión de literatura, en el sentido de que se ha demostrado que realizar actividades físicas, o al menos, no mantenerse sedentario, es vital para mantener un buen funcionamiento del sistema inmune. Sin embargo, aquellas personas que se ejercitan "más de la cuenta" deberían saber que podrían estar promoviendo trastornos negativos al sistema inmune, y por ende, afectando adversamente su salud.

## Referencias Bibliográficas

- Bouchard, C., Stephens, T., & Shephard, R. J. *Physical activity, fitness, and health: International proceedings and consensus statement*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1994.
- Brooks, G. A., Fahey, T. D., y White, T. P. *Exercise physiology, human bioenergetics and its applications* (2nd ed.). Mountain View, CA, EEUU: Mayfield Publishing Co., 1996.
- Campbell, M. K. *Biochemistry* (2nd ed.). Orlando, FL: Saunders College Publishing, 1995.
- González, J., y Aragón, L. Relación entre la intensidad del ejercicio físico y la respuesta inmediata del sistema inmune en preadolescentes. En W. Salazar (Ed.), "Deporte e investigación: Boletín informativo de la Escuela de Educación Física y Deportes" (Octubre). San José, Costa Rica: Escuela de Educación Física y Deportes, 1998.
- Henson, D. A., Nieman, D. C., Parker, J. C., Rainwater, M. K., Butterworth, D. E., Warren, B. J., Utter, A., Davis, J. M., Fagoaga, O. R., Nehlsen-Cannarella, S. L. Carbohydrate supplementation and the lymphocyte proliferative response to long endurance running. "International Journal of Sports Medicine", 19(8), 574-580, 1998.
- Jonsdottir, I. H., Hoffman, P., y Thoren, P. Physical exercise, endogenous opioids and immune function. "Acta Physiologica Scandinavica", 161(suppl. 640), 47-50, 1997.
- Lomonte, B. *Nociones de inmunología* (2da ed.). San José, Costa Rica: Lara Segura & Asociados, 1998.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. "Exercise physiology: Energy, nutrition, and human performance" (4th ed.). Baltimore, MD, EEUU: Williams & Wilkins, 1996.
- Mackinnon, L. T., y Jenkins, D. G. Decreased salivary immunoglobulins after intense interval exercise before and after training. "Medicine and Science in Sports and Exercise", 25(6), 678-683, 1993.
- Nehlsen-Cannarella, S. L., Fagoaga, O. R., Nieman, D. C., Henson, D. A., Butterworth, D. E., Schmitt, R. L., Bailey, E. M., Warren, B. J., Utter, A., y Davis, J. M. Carbohydrate and the cytokine response to 2.5 h of running. "Journal of Applied Physiology", 82(5), 1662-1667, 1997.
- Nieman, D. C. Immune response to heavy exertion. "Journal of Applied Physiology", 82(5), 1385-1394, 1997.
- Nieman, D. C. Exercise and resistance to infection. "Canadian Journal of Physiology and Pharmacology", 76(5), 573-580, 1998a.

- Nieman, D. C. Influence of carbohydrate on the immune response to intensive, prolonged exercise. *"Exercise and Immunology Review"*, 4, 64-76, 1998b.
- Nieman, D. C., Fagoaga, O. R., Butterworth, D. E., Warren, B. J., Utter, A., Davis, J. M., Henson, D. A., y Nehlsen-Cannarella, S. L. Carbohydrate supplementation affects blood granulocyte and monocyte trafficking but not function after 2.5 h of running. *"American Journal of Clinical Nutrition"*, 66(1), 153-159, 1997.
- Nieman, D. C., Henson, D. A., Garner, E. B., Butterworth, D. E., Warren, B. J., Utter, A., Davis, J. M., Fagoaga, O. R., y Nehlsen-Cannarella, S. L. Carbohydrate affects natural killer cell redistribution but not activity after running. *"Medicine and Science in Sports and Exercise"*, 29(10), 1318-1324, 1997.
- Nieman, D. C., Nehlsen-Cannarella, S. L., Fagoaga, O. R., Henson, D. A., Utter, A., Davis, J. M., Williams, F., y Butterworth, D. E. Effects of mode and carbohydrate on the granulocyte and monocyte response to intensive, prolonged exercise. *"Journal of Applied Physiology"*, 84(4), 1252-1259, 1998a.
- Nieman, D. C., Nehlsen-Cannarella, S. L., Fagoaga, O. R., Henson, D. A., Utter, A., Davis, J. M., Williams, F., y Butterworth, D. E. Influence of mode and carbohydrate on the cytokine response to heavy exertion. *"Medicine and Science in Sports and Exercise"*, 30(5), 671-678, 1998b.
- Nieman, D., y Benardot, D. Sports nutrition and immune function. En The Gatorade Sports Science Institute (Ed.), *"13th Annual Gatorade Sports Science Institute Scientific Conference: The Science and Practice of Sports Nutrition"*. Chicago, IL, EEUU: The Gatorade Sports Science Institute, 1999.
- Nieman, D. C., y Pedersen, B. K. Exercise and immune function. Recent developments. *"Sports Medicine"*, 27(2), 73-80, 1999.
- Playfair, J. H. L. *La inmunología en esquemas*. Madrid, España: Alhambra, 1983.
- Tharp, G. D., y Barnes, M. W. Reduction of saliva immunoglobulin levels by swim training. *"European Journal of Applied Physiology"*, 60, 61-64, 1990.
- Tortora, G. J., y Evans, R. L. *Principles of human physiology* (2nd ed.). New York, EEUU: Harper & Row, 1986.
- Woods, J. A., Davis, J. M., Smith, J. A., y Nieman, D. C. Exercise and innate immune function. *"Medicine and Science in Sports and Exercise"*, 31(1), 57-66, 1999.

## Anexo 1

Definiciones (Playfair, 1983; Lomonte, 1998).

1. Antígeno: toda sustancia que estimula la producción de anticuerpos.
2. Anticuerpo: globulinas séricas con un amplio espectro de especificidad frente a diversos antígenos. Los anticuerpos pueden unirse a las toxinas bacterianas neutralizándolas y también favorecer la fagocitosis bacteriana, viral, o parasitaria, uniéndose a su superficie celular.
3. Basófilo: leucocito cuyos gránulos basófilos contienen heparina y aminas vasoactivas de gran importancia en la respuesta inflamatoria.
4. Célula asesina: (NK ó Natural Killer) es semejante al linfocito y tiene origen desconocido. NK es capaz de causar la muerte de las células tumorales extracelularmente in vitro, aparentemente sin la colaboración de anticuerpo. Esta célula es diferente a la célula K (Killer), que se encuentra en la médula ósea, sangre, y

otros sitios, formando parte de la población "nula" ó indiferenciada, es decir, no es T ni es B. Su origen es probablemente mielóide y tiene capacidad de eliminar células tumorales revestidas de anticuerpos IgG, sin fagocitosis.

5. Citotoxicidad: se refiere a la lisis celular (ruptura celular) en lugar de la fagocitosis cuando el anticuerpo se une a las células. Las células que presentan citotoxicidad son los monocitos, los macrófagos, y las células K.
6. Eosinófilo: leucocito con grandes gránulos eosinófilos, con actividad fagocítica y citotóxica frente a parásitos grandes como los gusanos.
7. Fagocitosis: es el engullimiento de una partícula, o ingestión celular, por parte de una célula.
8. Inmunosupresión: supresión o disminución de la respuesta inmune.
9. Inmunoglobulina: (Ig) término que incluye todas las globulinas con actividad de anticuerpo. Las inmunoglobulinas G, A, y E, son relativamente más dependientes de la cooperación de las células T que las IgM. Se cree que la mayoría de las células B empiezan sintetizando IgM y posteriormente cambian para sintetizar otro tipo de inmunoglobulina.
  - IgA: es la inmunoglobulina que se encuentra en mayor proporción en las secreciones como lágrimas, sudor, secreciones digestivas, pulmonares, orina, donde puede resistir la digestión. Su función más importante es la de evitar la entrada de los microorganismos desde las superficies externas a los tejidos propiamente dichos.
  - IgD: parece poseer un papel regulador sobre la superficie de las células B donde se encuentra mayoritariamente.
  - IgE: tiene capacidad para unirse a los mastocitos y basófilos induciendo su degranulación.
  - IgG: se encuentra en los espacios extravasculares y en el feto (vía placenta).
  - IgM: normalmente es la clase de inmunoglobulinas que se detecta en las respues-

tas primarias y también es la primera que aparece desde un punto de vista evolutivo. Su estructura pentámera le confiere diez sitios de combinación con el antígeno, lo que le confiere una gran capacidad de unión y aglutinación.

10. Linfocito: célula sanguínea de tamaño pequeño que recircula a través de los tejidos y de las vías linfáticas vigilando la entrada de algún material extraño en el organismo. Los linfocitos más estudiados han sido los linfocitos B (LB) y los linfocitos T (LT).
  - LB: segregan anticuerpos. Son los elementos responsables de la respuesta inmune humoral.
  - LT: derivados de la glándula Timo. Se dividen en subpoblaciones con diferentes funciones, como por ejemplo, inducción de LB, eliminación de células infectadas por virus, activación de macrófagos.
11. Macrófago: es una célula tisular de gran tamaño encargada de eliminar tejido lesionado, células, bacterias, y otras. Es la célula fagocítica de los tejidos y cavidades serosas.
12. Monocito: la célula sanguínea nucleada de mayor tamaño, que evoluciona hasta convertirse en macrófago cuando migra a los tejidos.
13. Neutrófilo: el leucocito sanguíneo más frecuente. Es una célula de corta vida media, con capacidad fagocítica y cuyos gránulos contienen numerosas sustancias bactericidas.
14. Presentación: la presentación de los antígenos a los LT y LB es indispensable para la mayoría de las respuestas inmunes adquiridas. Esto constituye un ejemplo de interacción entre los mecanismos inmunes naturales y adaptativos.
15. Respuesta inmune adaptativa: el desarrollo o el aumento de los mecanismos de defensa en respuesta a un estímulo específico.
16. Vacunación: método que estimula la respuesta inmune adaptativa, generando memoria específica contra el microorganismo y además estimulando la resistencia adquirida.