

Efectos Reológicos del Esfuerzo Físico Controlado

J. González de Zárate Apiñariz*
 E. Luengo Fernández**
 M. García Domínguez***
 R. Sanz Cantalapiedra****
 J. Ojeda Ortego*****
 M. Catón Valdes*****

RESUMEN

Se ha estudiado la influencia del ejercicio físico aeróbico (graduado por ergómetro) sobre la viscosidad sanguínea, en un grupo de 29 sujetos sanos, no entrenados. El ejercicio físico medio realizado fue de 11.2 ± 3.6 mets., y se asoció a un aumento del valor hematocrito ($p < 0.003$), de la concentración de hemoglobina ($p < 0.0002$), del recuento eritrocitario ($p < 0.001$) y leucocitario ($p < 0.0001$) así como de la viscosidad sanguínea, a todos los gradientes de velocidad de deformación estudiados (230, 115, 46, 23 y 11.5 seg. inversos) ($p < 0.01$). No hemos encontrado correlación estadística entre el incremento de la viscosidad sanguínea y el grado de hemoconcentración. En cambio, el esfuerzo físico se asoció con un aumento del recuento leucocitario, que se ha correlacionado ($r = 0.64$), $p < 0.0003$ con el incremento de la viscosidad sanguínea. En el texto se discuten los mecanismos posibles que expliquen estos resultados.

SUMMARY

The influence of physical exercise under aerobic conditions upon blood viscosity has been studied in a group of 29 healthy individuals. The associate findings were an increase in PCV, HbC, RBC and WBC countings as well as blood viscosity, without a relationship between blood viscosity and degree of haemoconcentration having been found. However, blood viscosity and leucocyte count were found to be related ($r = 0.64$; $p < 0.0003$). Possible mechanisms explaining these results are discussed in the text.

Palabras Clave:

Viscosidad sanguínea
 Ergometría
 Ejercicio físico

Introducción:

EL estudio científico de la fisiología del ejercicio físico adquiere creciente importancia a medida que se comprende mejor la relación entre el ejercicio físico y la salud (1). Sin embargo, la práctica de ejercicio físico, en ocasiones no esta exenta de riesgos (2) (3).

El control ergométrico del esfuerzo físico supuso un importante logro en la investigación de la fisiología del esfuerzo físico, así como en el diagnóstico de la cardiopatía isquémica (4).

(*) *Capitán-Médico. Alumno del Diploma de Anestesiología-Reanimación. Servicio de Anestesiología y Reanimación. Hospital Militar Generalísimo Franco. Madrid.*

(**) *Capitán-Médico. Diplomado en Cardiología. Servicio de Cardiología. Hospital Militar Regional. Zaragoza.*

(*) *Capitán-Médico. Alumno del Diploma de Hematología y Hemoterapia. Servicio de Hematología y Banco de Sangre. Hospital Militar Gómez Ulla. Madrid.*

(****) *Cátedra de Patología y Clínica Médicas II. Hospital Universitario. Valladolid.*

(*****) *Centro Rural de Higiene de Horche. Guadalajara. Mayo 1986.*

En la actualidad disponemos de pocos estudios referentes a los efectos del esfuerzo físico sobre la viscosidad sanguínea (5).

En nuestro grupo de investigación estamos muy interesados en el estudio de los aspectos hemorreológicos, y más concretamente, de la viscosidad sanguínea, relacionados con el esfuerzo físico; pensamos que este tipo de estudio son del interés de los profesionales dedicados a la medicina deportiva, a la medicina militar, a la cardiología y por supuesto, a la hemorreología.

Nos proponemos con este estudio investigar los posibles efectos hematológicos y reológicos asociados al esfuerzo físico controlado.

Material y Método:

En un grupo de 29 sujetos sanos, de 45.1 ± 19.2 años de edad, de ambos sexos, no entrenados, (que no realizaban esfuerzos físicos o deporte de forma habitual), se practicó un test de esfuerzo graduado —ergometría— mediante el protocolo de Bruce (6), alcanzando una capacidad funcional aeróbica de 11.2 ± 3.6 Mets. Para lo que se utilizó una "cinta sin fin" —treadmill— con monitorización elec-

trocardiográfica continua computarizada: Ergómetro Computerizado CA-SE-80 (Marquette Inc. Milwaukee USA).

En todos los sujetos se procedió a la extracción de sangre venosa: Antes (A), e inmediatamente (D) a la realización del máximo esfuerzo realizado, para la medición de la viscosidad sanguínea y de parámetros hematológicos. La determinación de la viscosidad sanguínea se realizó con un microviscosímetro Wells-Brookfield, modelo LVT, especial para sangre; en todas las muestras se midió la viscosidad sanguínea a varios gradientes de velocidad de deformación (230, 115, 46, 23 y 11.5 segundos inversos). Los parámetros hematológicos medidos fueron: el valor hematocrito, el recuento eritrocitario, el recuento leucocitario, la concentración de hemoglobina, CVM y CHM, que se determinaron con un contador automático, Coulter "S". Con los valores de la viscosidad sanguínea (en cP). Se procedió al cálculo del Índice del Gradiente de Viscosidad, descrito por Goto et al. (7).

El análisis estadísticos se realizó mediante el test de la T Apareada para datos emparejados, para la consideración de la significación de las diferencias, así como la búsqueda de correlaciones estadísticas mediante el cálculo

de índice de correlación de Pearson; considerándose los resultados como significativos cuando la probabilidad de error era menor del 5% (P menor de 0.05).

Resultados:

Las variaciones de los parámetros hematológicos estudiados se presentan en la Tabla n. 1; en la Tabla n. 2 se muestran los valores de la viscosidad sanguínea a los diferentes gradientes de velocidad de deformación medidos.

La realización de un esfuerzo físico controlado, supone un incremento significativo del valor hematocrito, de la concentración de hemoglobina, del recuento leucocitario y eritrocitario ($p < 0.001$), así como de un aumento de la viscosidad sanguínea a todos los gradientes de velocidad de deformación medidos ($p < 0.01$).

El Índice del Gradiente de Viscosidad de Goto, et al. para los valores de la viscosidad sanguínea antes del esfuerzo fue de: $1.89 + -0.03$ (DS: 0.18), y después del esfuerzo: $1.89 + -0.02$ (DS: 0.15); la diferencia no es significativa.

No hemos encontrado correlación significativa entre las variaciones de la viscosidad sanguínea y el esfuerzo físico alcanzado, ni con las variaciones de los parámetros hematológicos estudiados, a excepción del recuento leucocitario. El incremento del recuento leucocitario se asoció con el aumento de la viscosidad sanguínea a varios

gradientes de velocidad de deformación, tras la realización del esfuerzo físico controlado (en la Tabla n. 3 se presentan los índices de correlación encontrados). En cambio, el aumento del recuento leucocitario no se correlacionó, con el grado de esfuerzo físico (medido en mets), el incremento de la frecuencia cardíaca, de la tensión sistólica, ni de la frecuencia cardíaca y tensión sistólica máximas. Tal y como era de esperar, encontramos una correlación entre la edad de los sujetos estudiados y el nivel de esfuerzo físico tolerado, graduado en mets ($r=0.61$, p menor de 0.0006). En la gráfica n. 1 presentamos los reogramas de antes (A) y después (D) del esfuerzo físico.

Discusión:

La realización de forma aguda de esfuerzo físico se acompaña de cambios en los sistemas y funciones del organismo (1); durante el ejercicio físico se produce un aumento en el consumo de oxígeno, en la producción de anhídrido carbónico, de la frecuencia respiratoria y cardíaca, del gasto cardíaco y de la tensión arterial, entre los más importantes.

A nivel hematológico destacan: el aumento del valor hematocrito (4), la reducción del volumen plasmático (8) (9), el aumento de distintos enzimas (aldolasa, creatinfosfocinasa, glutamico-oxal-acética, etc.) (10) y el aumento del recuento leucocitario (11). Beaumont, Greenleaf y Julhos (12) demostraron que las variaciones del volu-

men plasmático no se corresponden con las calculadas atendiendo a las modificaciones del recuento eritrocitario o de la concentración de las proteínas plasmáticas. Convertino et al. (13) apuntaron que el descenso máximo del volumen plasmático, asociado al esfuerzo físico, podía alcanzar valores de un 12.4%.

La viscosidad sanguínea se define como la resistencia de la sangre a fluir (14), por lo tanto el aumento de la viscosidad sanguínea supone un incremento en las resistencias periféricas totales. Las resistencias periféricas totales dependen de: la resistencia intrínseca de la sangre —Viscosidad Sanguínea—, de las resistencias vasculares (tono vascular, elasticidad arterial, grado de shunt y de otros factores hidráulicos) (15). Los factores que determinan la viscosidad sanguínea son (16): el valor hematocrito, la viscosidad plasmática (volumen plasmático y la tasa de proteínas) y las propiedades globulares eritrocitarias (Deformabilidad y Agregación Eritrocitarias). La tasa de leucocitos y de plaquetas, en condiciones normales, no influyen en la viscosidad sanguínea (17).

En nuestro estudio hemos comprobado que el esfuerzo físico controlado se asoció a un aumento del valor hematocrito, del recuento de eritrocitos, de leucocitos, así como de la viscosidad sanguínea, estadísticamente significativos. Al ser la masa eritrocitaria, el factor que más influye en la viscosidad sanguínea, el aumento de esta debe intentar correlacionarse con el grado de hemoconcentración alcanzado tras el esfuerzo físico. Esta suposición no ha podido ser demostrada, al no encontrar correlación entre las variaciones del valor hematocrito, recuento eritrocitario y concentración de hemoglobina, con las de las viscosidades sanguínea (a todos los gradientes de velocidad de deformación estudiados); hecho que coincide con lo afirmado por Beaumont et al. (12).

Recientemente, Fuchs et al. (18) estudiaron los efectos del ejercicio físico sobre la viscosidad plasmática en un grupo de sujetos sanos y en un grupo de pacientes de isquemia coronaria, no encontrando variaciones de la misma asociadas al esfuerzo físico controlado. Por ello, pensamos que en los niveles de esfuerzo estudiados, las variaciones del volumen plasmático no deben ser lo suficientemente importantes como para que modifiquen la viscosidad plasmática, y que por lo tanto, repercutirán muy poco sobre la viscosidad sanguínea.

Martín et al. (5) en un estudio realizado en una muestra exclusivamente formada por mujeres, han encontrado unos resultados similares a los nues-

TABLA N. 1.

	ANTES	DESPUES	DIFERENCIA	P
HEMATOCRITO (%)	43.1 (0.8)	45.5 (0.7)	2.4 (0.7)	menor de 0.003
HEMOGLOBINA (gr./dl.)	14.1 (0.2)	15.0 (0.2)	0.8 (0.1)	menor de 0.0002
HEMATIES (mill.ml ⁻¹)	4.64 (0.09)	4.89 (0.09)	0.2 (0.06)	menor de 0.001
LEUCOCITOS ($\times 10^3$ /ml.)	6.8 (0.4)	9.3 (0.7)	2.5 (0.2)	menor de 0.0001

Parámetros hematológicos medidos en relación al esfuerzo físico controlado; todos los valores están expresados en media aritmética, entre paréntesis se expresa el valor del error standar. ANTES Y DESPUES del esfuerzo físico controlado, P: probabilidad de error tras el análisis de la "t apareada" de Student, para datos emparejados. (n = 29).

TABLA N. 2.

	ANTES	DESPUES	DIFERENCIA	P
V 230	3.9 (0.1)	4.3 (0.1)	0.41 (0.05)	menor de 0.0001
V 115	4.4 (0.1)	4.8 (0.1)	0.37 (0.06)	menor de 0.0001
V 46	5.1 (0.1)	5.7 (0.2)	0.53 (0.10)	menor de 0.0001
V 23	7.5 (0.2)	8.1 (0.2)	0.50 (0.20)	menor de 0.01
V 11.5	11.0 (0.3)	11.9 (0.3)	0.89 (0.29)	menor de 0.005

Gradientes de Velocidad de Deformación

Valores de la viscosidad sanguínea (a varios gradientes de velocidad de deformación: 230, 115, 46, 23 y 11.5 segundos inversos) en relación al esfuerzo físico controlado; todos los valores están expresados en media aritmética, entre paréntesis el valor del error standar y en centipoises (Cp). ANTES Y DESPUES del esfuerzo físico controlado, P: probabilidad de error tras el análisis de la "t apareada" de Student, para datos emparejados. (n = 29).

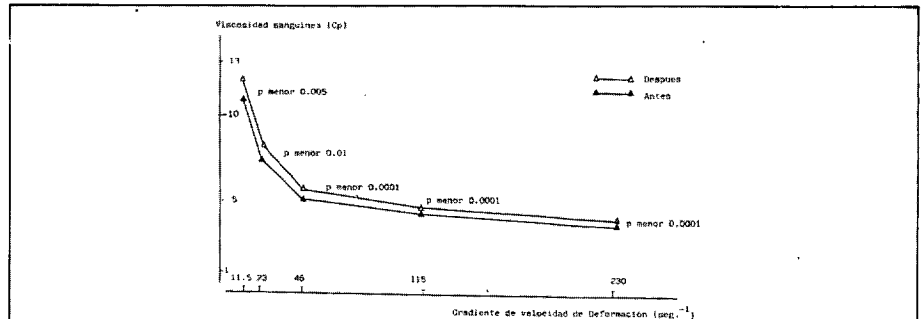
tros, si bien es preciso hacer notar que: no estudiaron los efectos del esfuerzo físico sobre el recuento leucocitario (como lo hemos realizado nosotros), y que por otro lado, que han ignorado el estudio de Fuchs et al. sobre las variaciones de la viscosidad plasmática asociadas al ejercicio físico controlado.

Tras un breve período de ejercicio físico intenso, sucede un aumento del recuento leucocitario, que inicialmente se debe fundamentalmente a los linfocitos y que si el ejercicio se prolonga, la elevación depende casi exclusivamente de los neutrofilos (1). Varias explicaciones han intentado interpretar este fenómeno: Nilo (19) afirma que el aumento de los leucocitos y de las plaquetas se debe a un factor mecánico asociado al aumento del flujo sanguíneo, mientras que Muir et al. (11) y Strauss (20) opinan que sea un efecto de la estimulación y liberación adrenérgica asociada al esfuerzo físico. Sorprendentemente, nosotros hemos encontrado una correlación significativa entre el incremento del recuento de leucocitos y el aumento de la viscosidad sanguínea; hecho que no podemos explicar como causa directa. Más bien, pensamos que el aumento de la viscosidad sanguínea, del recuento eritrocitario y leucocitario, y de otros factores enzimáticos, se deben encuadrar dentro de una reacción al stress y/o al esfuerzo físico.

En opinión de Di Perri (21), las propiedades globulares (agregación y deformabilidad eritrocitarias) pueden justificar el aumento de la viscosidad sanguínea asociado al esfuerzo, si bien este hecho aun no ha sido

TABLA N. 3.		
Coefficientes de Correlación	r	P
V 230 seg. ⁻¹	r = 0.54	menor de 0.002
V 115 seg. ⁻¹	r = 0.52	menor de 0.003
V 46 seg. ⁻¹	r = 0.64	menor de 0.0003
V 23 seg. ⁻¹	r = 0.42	menor de 0.02
V 11.5 seg. ⁻¹	r = 0.38	menor de 0.03

Coefficientes de correlación y significación de los mismos, encontrados entre la variación de viscosidad sanguínea (a los gradientes de velocidad de deformación medidos) y el incremento del recuento leucocitario, asociados al esfuerzo físico controlado. (n = 29). r = coeficiente de correlación de Pearson. P: probabilidad de error.



Representación gráfica (Reogramas) de las variaciones de la Viscosidad Sanguínea, en un grupo de sujetos sanos, no entrenados en relación con el esfuerzo físico controlado.

demostrado.

De nuestro estudio podemos concluir que: 1/ el esfuerzo físico se acompañó de un aumento de la viscosidad sanguínea, 2/ que el aumento de la viscosidad sanguínea no se explica únicamente por el incremento del valor hematocrito, 3/ que hemos encontrado una correlación entre el incremento del recuento leucocitario y el de la viscosidad sanguínea, y que 4/ el aumento de la viscosidad sanguínea

asociado al esfuerzo físico, fue independiente del grado de esfuerzo desarrollado.

Pensamos que este estudio tiene interés en el campo de investigación de la fisiología del esfuerzo físico y del entrenamiento físico, así como de la fisiopatogenia del angor de esfuerzo: si bien será preciso profundizar en el estudio de los aspectos microrreológicos del esfuerzo físico y de su relación con la viscosidad sanguínea. ■

BIBLIOGRAFIA

- Morehouse L. E., Miller A. T. Fisiología del ejercicio físico pg. 32-57 Ed. Ateneo, Buenos Aires 1984.
- Northcote R. J., Evans A. D., Ballantyne D. Sudden death in squash players Lancet 148-150, 1: 1980.
- Lynch P. Soldiers sport and sudden death Lancet 1235-1237, 1: 1980.
- Ellestad M. H. Stress testing. Principles and practice. pg. 20-26. Davis & Co. Filadelfia 1980.
- Martin D. G., Ferguson E. W., Wigutoff S., Gawne T., Schoemaker E. B. Blood viscosity responses to maximal exercise in endurance-trained and sedentary female subjects. J. Appl. Physiol. 59: 348-353.2. 1985.
- Bruce R. A. Evaluation of functional capacity and exercise tolerance of cardiac patients. Mod. Concepts. Cardiovasc. Dis. 25:321-343. 1956.
- Goto Y., Sakakura S., Hattam-sigüra Y., Kato T. Hemorheological effects of colloidal plasma substitutes infusion. A comparative study. Acta Anaesth. Scand. 29:217-221.2 1985.
- Ekelund L. G. Circulatory and respirator adaptation during prolonged exercise of moderate intensity in the sitting position. Acta Physiol. Scand. 69:327-340. 1976.
- Dill D. B., Costill D. L. Calculation of porcentaje changes in volumes of blood, plasma and red cells in dehydration. J. Appl. Physiol. 37:247-248. 1974.
- Kaman R. L., Goheen B., Patton R. The effects of near maximum exercise on serum enzymes: the exercise profile versus the cardiac profile. Clin. Chim. Acta 81:145-152. 1977.
- Muir A. L., Cruz M., Martin B. A., Thommasen A., Belzberg A., Hogg J. C. Leukocyte kinetics in the human lung: role of exercise and catecholamines. J. Appl. Physiol. 57:711-719. 1984.
- Beaumont V. W., Greenleaf J. E., Juhos L. Disproportional changes in hematocrit, plasma volume and protein during exercise and bed rest. J. Appl. Physiol. 1:33-35. 1972.
- Convertino V. A., Keil L. C., Bernauer E. M. Plasma volume, osmolality, vasopressin and renin activity during graded exercise. J. Appl. Physiol. 50:123-128. 1981.
- Berga L., Vives-Corróns J. L., Felin E., Woerner S., Rozman C. Hemorreología: Bases teóricas y aplicaciones clínicas 45-52. Salvat Ed. Barcelona. 1982.
- Dormandy J. A. Clinical significance of the blood viscosity. Ann. Roy. Coll. Surg. Engl. 47:211-228. 1970.
- Homing C. Modern cardiovascular physiology. 128-132. Little & Brown Ed. Boston. 1981.
- Charn S. E., Kurland G. S. Blood flow and microcirculation. 77-90. John & Willey Ed. Nueva York 1974.
- Fuchs J., Weinberger I., Rotenberg Z., Erdberg A., Davidson E., Joshua H., Amon J. Plasma viscosity in ischemic heart disease. American Heart J. 108:435-439. 1984.
- Nilo J. L. Medicina del deporte. 98-100. La Prensa Médica Mexicana. Méjico 1984.
- Strauss R. H. Sports Medicine 245-246. Saunders Co. Filadelfia. 1984.
- Di Perri T. Rheological factors in circulatory disorders. Angiology 30:480-486.3 1979.