

SANGRE

La sangre es una forma especializada de tejido conectivo que incluye elementos figurados (principalmente células) y una sustancia intercelular líquida, llamada *plasma sanguíneo*. Las células sanguíneas se dividen en hematíes o glóbulos rojos, los glóbulos blancos o leucocitos y las plaquetas. Por otra parte, el plasma transporta los materiales nutritivos (absorbidos del sistema digestivo), las sustancias de deshecho producidas por el metabolismo y las hormonas. Es un líquido algo alcalino, homogéneo, el cual contiene una proteína llamada fibrinógeno la cual favorece el proceso de coagulación sanguínea al formar una red de filamentos a partir de la fibrina. Cuando a la sangre se le elimina esta proteína, el plasma se convierte en suero.

A continuación haremos algunas precisiones acerca del volumen sanguíneo y de las células sanguíneas.

VOLUMEN SANGUÍNEO

En un adulto normal, la cantidad de sangre es de aproximadamente 5 litros, equivalente a un 6% de la masa corporal., de los cuales, 3 litros son de plasma (entre 25 y 45 ml/kg de peso corporal) y 2 litros son de células sanguíneas. Estos valores varían de acuerdo al sexo, al peso, el grado de actividad física y otras condiciones.

Cuando se toman 100 ml de sangre y se centrifuga, aparece una parte sólida que representa entre el 40% y 50% del total, denominada **hematocrito**, el cual sirve como un índice de evaluación de la composición sanguínea pues los glóbulos rojos representan entre el 48% en los hombres y el 42% en mujeres (la variación total oscila entre 39% - 55% -hombres y 36% - 48% en mujeres). En el campo del doping, sirve para detectar el uso de eritropoyetina que ocasiona una mayor cantidad de glóbulos rojos y por lo tanto, un hematocrito por encima de 50%.

CÉLULAS SANGUÍNEAS.

Las células sanguíneas se producen principalmente en la médula ósea o en los tejidos linfoides, a partir de las células denominadas pluripotenciales o totipotenciales. La médula ósea es el mayor órgano del organismo y comprende aproximadamente el 4.5% del peso corporal. En el adulto existen dos tipos de médula ósea: la roja y la amarilla. La roja es principalmente hematopoyética y la amarilla, grasa. Los huesos con médula roja son el esternón, las costillas, las vértebras, el cráneo y las epífisis de algunos huesos largos.

Al proceso de formación de las células sanguíneas se conoce como **hematopoyesis**. Estas células originan dos tipos o series de producción de células: a) la serie roja, b) la serie blanca.

☞ La serie roja:

La serie roja la componen los glóbulos rojos o eritrocitos (eri = rojo; cito = célula) y los granulocitos. Estas células se originan en la médula ósea a partir de una célula denominada *hemocitoblasto*. La serie es la siguiente:

Hemocitoblasto → eritroblasto basófilo → eritroblasto policromático → normoblasto → Reticulocito I → Reticulocito II → Reticulocito III → Reticulocito IV → Eritrocito.

La principal función de los eritrocitos es el transporte del oxígeno y del gas carbónico a partir de la combinación con la hemoglobina (Hb). El control de la unión de los gases a la hemoglobina depende de las situaciones de cada tejido. Así, cuando la presión de oxígeno (pO₂) es baja, la hemoglobina se disocia y libera el oxígeno hacia las células. En este proceso interviene el 2-3 difosfoglicerato (2-3 DPG) reduciendo la afinidad de la Hemoglobina por el O₂. De la misma manera, el eritrocito contiene grandes cantidades de anhidrasa carbónica, enzima que cataliza la reacción entre el CO₂ y el agua para formar ácido carbónico (CO₂ + H₂O → H₂CO₃). De esta

manera el CO₂ es retirado de las células y transportado hasta los capilares pulmonares donde la ecuación se invierte y el CO₂ es transportado hacia los alvéolos y por allí, a la atmósfera.

Por término medio, la concentración de eritrocitos en sangre es de 5.2 millones por microlitro (μl) en el hombre y de 4.7 mill/μl en la mujer. Los glóbulos rojos no pueden contener mas de 34 gr de Hb y la cada gramo de hemoglobina se combina con 1,39 ml O₂, lo que significa que el transporte de oxígeno por cada mm de sangre es de 21 ml para el hombre y 19 ml para la mujer, en promedio.

La masa total de glóbulos rojos está controlada de tal manera que se mantiene en un nivel constante. El nivel de requerimientos de oxígeno por parte de los tejidos es el principal factor regulador. La eritropoyetina (EPO) es la principal herramienta para llevar a cabo la respuesta de equilibrio, de modo que el riñón producirá mayor cantidad de eritropoyetina una vez el nivel de O₂ en sangre disminuya. El riñón produce el 80-90% de la eritropoyetina y el hígado el 10-20% restante. En una atmósfera con bajos niveles de oxígeno (hipóxica) como es la situación de incremento de altura sobre el nivel del mar, el nivel de EPO en sangre empieza a incrementar pasados unos minutos, alcanzando su máximo al cabo de 24 horas. La producción de EPO continúa hasta que persista el estímulo hipóxico. La acción de la EPO dependerá del estado nutricional del sujeto, especialmente del contenido de vitamina B12 y de ácido fólico.

La síntesis de hemoglobina está relacionada con el metabolismo del hierro (Fe). En la sangre, el Fe se combina con la *apotransferrina* para formar *transferrina*, encargada del transporte del Fe. La liberación del Fe desde la transferrina puede realizarse en cualquier tejido. En el citoplasma de los hepatocitos (células del hígado), el Fe se combina con la *apoferritina* para formar *ferritina* la cual se convierte en la reserva de Fe (Ver figura 1)

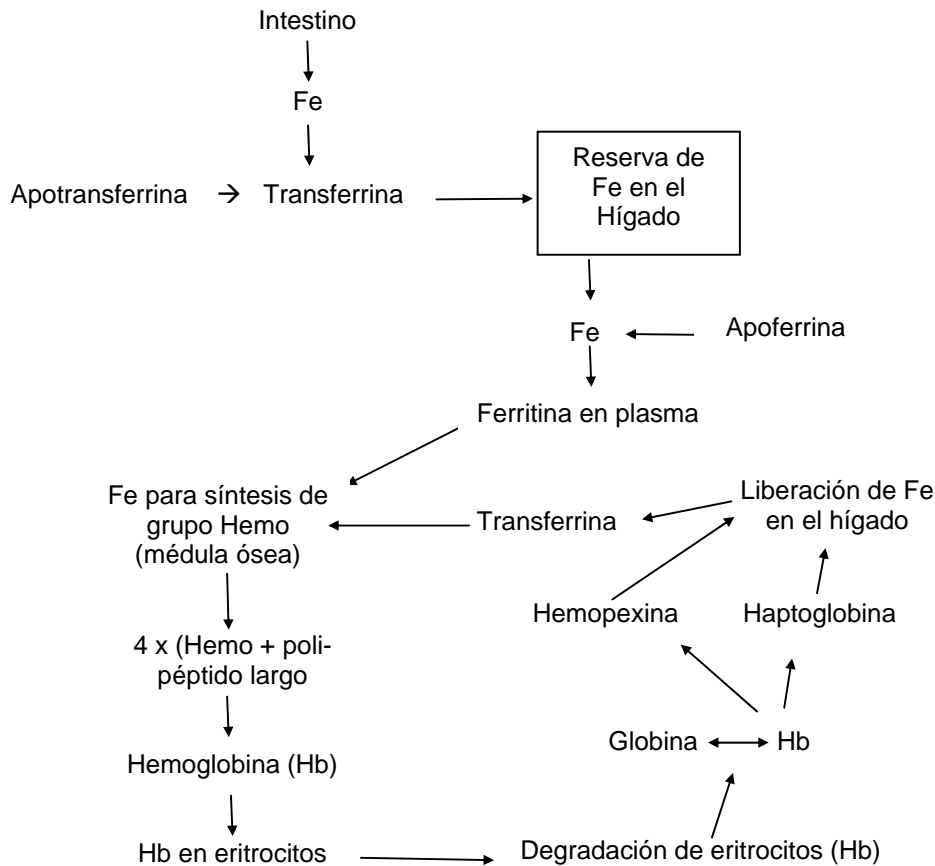


Figura 1. Esquema del metabolismo del hierro en el organismo.

La vida media de un eritrocito en la sangre circulante es de aproximadamente 120 días. Cuando los eritrocitos se rompen, la hemoglobina liberada se une a la haptoglobina o a la hemopexina, los cuales son eliminados en el hígado. El hierro es de nuevo transportado al plasma donde se une a la transferrina y esta lo transporta hasta la médula ósea para la síntesis de hemoglobina.

☞ La serie blanca

La serie blanca está constituida por los leucocitos (leuco = blanco; cito = célula). En el siguiente esquema se presenta el proceso de formación de estas células.

- Hemocitoblasto → Mieloblasto → Promielocito :
 - Eosinófilo Medular → Eosinófilo periférico
 - Mielocito neutrófilo → metamielocito neutrófilo → Banda neutrófila → Granulocito neutrófilo segmentado
 - Basófilo medular → Basófilo periférico
- Hemocitoblasto → Monoblasto → Monocito
- Hemocitoblasto → Reticulocito linfocítico → Linfoblasto → Linfocito grande → linfocito pequeño
- Hemocitoblasto → Reticulocito linfocítico → Plasmblasto → Célula plasmática

Los leucocitos constituyen una unidad móvil del sistema inmune del organismo así como son los encargados de los procesos de inflamación y reparación de los tejidos. El número promedio de leucocitos en la sangre de un humano adulto es de 7.000 cel / μ l de sangre (con un rango de 4.000 a 9.000 cel / μ l de sangre). Los tipos de leucocitos son:

- 1) Los neutrófilos polimorfonucleares: entre el 50% y el 70% del total
- 2) Los eosinófilos: entre un 0 y 3% del total
- 3) Los basófilos polimorfonucleares: entre un 0 y 1%
- 4) Los monocitos: entre un 1 y 10%
- 5) Los linfocitos: entre un 20 y 40%

Los neutrófilos, eosinófilos y los basófilos tienen un aspecto granular cuando se observan al microscopio, de ahí que también se les conozca como granulocitos. Los granulocitos y los monocitos son especialistas en fagocitar (deglutir) los microorganismos que invaden el cuerpo. Los linfocitos y las células plasmáticas son las encargadas de producir anticuerpos contra los virus y las bacterias. Los megacariocitos también hacen parte de los leucocitos, pero en sangre solo se encuentran fragmentos de estas células, llamadas plaquetas o trombocitos (entre 150.000 y 300.000 plaq/ μ l de sangre) y tienen como función destacada el proceso de coagulación de la sangre.

RESPUESTA INMUNE

La inmunidad es la capacidad del organismo para defenderse de la agresión de microorganismos y de las toxinas que intentan dañar los tejidos y los órganos. La base del reconocimiento de los agentes extraños radica en la identificación de estructuras proteicas típicas que son características del cuerpo humano, a las cuales se les denomina **antígenos**. Una vez el sistema inmune establece la presencia de un antígeno extraño, se genera la respuesta inmune. Las células sanguíneas son las encargadas de este proceso. Estas células poseen dos mecanismos de acción: a) la innata y b) la adquirida.

La inmunidad innata es la que poseen las células, codificadas por mecanismos genéticos. Las células que generan estos mecanismos son los neutrófilos polimorfonucleares y los macrófagos. Los mecanismos más utilizados son:

1. La fagocitosis: por este mecanismo, una célula es capaz de englobar, digerir y matar a un agente externo, en este caso, un microorganismo.
2. Producción de enzimas: el sistema digestivo y su epitelio producen potentes enzimas que son capaces de digerir o neutralizar microorganismos.
3. Compuestos de la sangre: enzimas como las lisozimas (producen lisis de microorganismos), polipéptidos básicos (inactivan proteínas de microorganismos) pueden inactivar toxinas o destruir organismos externos.
4. Reconocimiento de antígenos de células extrañas, que destruyen células tumorales o células infectadas.

La inmunidad adquirida es aquella que se produce como consecuencia del reconocimiento de microorganismos no codificados genéticamente (bacterias, virus, toxinas, proteínas extrañas). Este tipo de inmunidad tiene dos mecanismos: a) la inmunidad humoral y b) la inmunidad celular.

La inmunidad humoral está constituida por la producción de anticuerpos capaces de identificar de manera específica los antígenos de organismos invasores y de destruir sus membranas. Son los linfocitos B las células que están en capacidad de producir dichos anticuerpos. Estas células no solo están en la sangre sino también en los ganglios linfáticos y en tejidos /órganos como el bazo, la mucosa gastrointestinal, las amígdalas y la faringe.

Los anticuerpos producidos circulan por todo el organismo. Son inmunoglobulinas (Ig) que se subdividen en cinco subclases: IgM, IgG, IgA, IgD e IgE. Las IgG constituyen el 75% de los anticuerpos de una persona normal.

La inmunidad celular está mediada por los linfocitos T (linfocitos que migran hacia el timo y allí adquieren la capacidad inmune). Las células T se subdividen en: supresoras, cooperadoras y citotóxicas. La mayoría son células cooperadoras que forman una serie de mediadores proteicos (linfocinas), las cuales actúan sobre las demás células para cooperar con la actividad de reconocimiento de agentes extraños y la destrucción de los mismos. Sin la producción de linfocinas, el sistema inmune se queda prácticamente inactivado. La interleucina 1 es secretada por los macrófagos y estimula el crecimiento y reproducción de linfocitos específicos.

Las células T citotóxicas atacan a las células directamente. Son capaces de destruir microorganismos e incluso algunas células del propio cuerpo (fenómenos autoinmunes) por medio de enzimas proteicas que perforan (perforinas) la membrana y enzimas que destruyen el microorganismo.

EFFECTOS DEL EJERCICIO SOBRE LA VOLEMIA, LAS CELULAS SANGUÍNEAS y SISTEMA INMUNE.

Con ejercicios de corta duración como 30 o 60 seg a intensidades cercanas al máximo, el volumen plasmático desciende entre un 15 y un 20% (Sejersted y col., 1986). Cinco repeticiones de carreras a gran velocidad durante 35 a 60 seg con períodos de descanso de 4 a 4,5 min., redujeron el volumen plasmático entre un 20 y un 25% (Hermansen y col., 1984). Simultáneamente apareció un incremento correspondiente de agua en el músculo (Hermansen y Vaage, 1977).

La pérdida de líquido plasmático origina una hemoconcentración desde el inicio del ejercicio la cual es una consecuencia del paso del líquido hacia el espacio intersticial o al músculo. El principal mecanismo propuesto para este proceso es el incremento súbito o rápido de la presión sanguínea (Virus y col., 2003).

Durante los ejercicios prolongados, la pérdida de plasma continúa hasta una cierta cantidad de plasma, momento en el cual se equilibran las presiones del líquido intersticial y la presión intracapilar (Greenleaf y col., 1977). Luego del reposo y de la debida hidratación, la volemia vuelve a recuperarse.

En los atletas de resistencia, el proceso crónico de entrenamiento aumenta la volemia. Este fenómeno se explica por la mayor producción de hormona antidiurética y de aldosterona, hormonas que al actuar sobre el riñón incrementan la reabsorción de agua; por otra parte, la concentración de albúmina incrementa y provoca una mayor presión osmótica que diluye la sangre (Wilmore y Costil, 2004).

La cantidad de eritrocitos circulantes se incrementa hasta en un 25% como consecuencia de la actividad física de resistencia (DeVries, 1974). Descartada la hemoconcentración como un factor que determine dicho incremento, se ha encontrado que la eritropoyetina (EPO) se incrementa luego de una carrera de maratón, observándose el inicio del incremento luego de tres horas de terminada la prueba y un pico máximo a las 31 horas (Eckardt y col., 1990). A diferencia de lo anterior, el impacto del pie sobre el piso en los corredores de fondo produce una hemólisis (destrucción por incremento de la presión) que es un factor que disminuye la cantidad de glóbulos rojos; se ha estimado que un programa de entrenamiento produce pérdidas de hierro que alcanzan 1,75 mg/día (Haymes y col., 1989). Dickson y col., (1982) no encontraron pérdida de hierro en nadadores ni ciclistas.

Ya desde 1924 (Egoroff, 1924) se observó que una actividad física intensa de corta duración o una larga duración pero baja intensidad modificaba la cantidad de leucocitos circulantes, hecho que se denominó **leucocitosis miógena**. En las cargas de corta duración, este fenómeno se caracterizó por un incremento de los linfocitos; en las cargas más prolongadas e intensas, el incremento puede llegar hasta 20.000 cel/ml de sangre y a expensas de los neutrófilos, en combinación con una disminución de los linfocitos (linfopenia) y los eosinófilos (eosinopenia).

Esta linfopenia puede ser la causante de que la respuesta inmune se disminuya en deportistas de alto rendimiento y por lo tanto, la posibilidad de adquirir enfermedades infecto-contagiosas se incrementa (Mackinnon, 1992; Nieman, 1994). Por el contrario, con cargas de moderada intensidad, la actividad inmune se incrementa al punto de disminuir la incidencia de cáncer (Col y col., 1988; Viru y Smirnova, 1992). Se ha encontrado evidencia de que la actividad física aguda incrementa el proceso de fagocitosis de los macrófagos (Fehr y col., 1980). Tras una hora de ciclismo al 60% del VO_2 max, la actividad oxidativa de los neutrófilos aumenta durante 6 horas, tanto en personas entrenadas como no entrenadas (Smith y col., 1990).

En general, se ha corroborado que la actividad física incrementa la actividad fagocítica de los macrófagos, se incrementa la población de linfocitos B así como de las células T y se incrementa las células asesinas naturales (Killer cells). Esta actividad es mayor en personas desentrenadas que en entrenadas (Nieman y col., 1994). Se ha encontrado que ejercicios de 80% de intensidad provocan un incremento de los linfocitos T cooperadores y supresores (Gabriel y col., 1992).

Ni los ejercicios intensos ni los máximos de corta duración (Nieman y col., 1989) o prolongados (Mackinnon y col., 1989) provocan cambios en las inmunoglobulinas. En algunos casos (15min de ciclismo), la IgG, IgA e IgM se disminuyeron sus niveles (Hedfors y col., 1983). La IgA (presente en las secreciones mucosas) se disminuyó en deportistas de élite de resistencia y de juegos deportivos (Tharp y col., 1990; Mackinnon y col., 1991).

BIBLIOGRAFÍA:

VIRU, A., y VIRU, M. 2002. Análisis y control del rendimiento deportivo. Paidotribo: Barcelona.

SEJERSTED, O.M., VOLLENSTAD, N.K., y MEDBO, J.I. 1986. Muscle fluid and electrolyte balance during and following exercise. *Acta Physiologica Scandinava*. 128 (Suppl. 556): 119-127.

HERMANSEN, L., OFHEIM, A., y SEJERSTED, O.M. 1984. Metabolic acidosis and changes in water and electrolyte balance in relation to fatigue during maximal exercise of short duration. *International Journal of Sport Medicine*. 5(Suppl): 110-115.

HERMANSEN, L., y VAAGE, O. 1977. Lactate disappearance and glycogen synthesis in human muscle after maximal exercise. *American Journal of Physiology*. 233:E422-9.

GREENLEAF, J.E., CONVERTINO, R.W., STREMEL, E.M., BERNAUER, W., ADAMS, VIGNU, S.R., y BROCK, P.J. 1977. Plasma [Na⁺], [Ca⁺⁺] and volume shifts and thermoregulation during exercise in man. *Journal of Applied Physiology* 43:1026-32.

WILMORE

DeVRIES, H.A. Physiology of exercise for physical education and athletics. 2 ed. Debuque, Iowa: C.Brown.

ECKARD, K.U., BOUTELLIER, A., KURTZ, M., SCHOPEN, E.P., KOLLEN, E., y BAUER, C. 1989. Rate of erythropoietin formation in human response to acute hyperbaric hypoxia. *Journal of Applied Physiology* 66:1785-8.

HAYMES, E.M., y LAMANCA, J.J. 1989. Iron loss in runners during exercise. Implications and recommendations. *Sports Medicine* 7:277-85.