14-11 RETORNO DE LA SANGRE AL CORAZON

Cuando la sangre deja los capilares y penetra en las venas, es poca la presión que la impulsa hacia adelante. ¿Cómo es entonces posible que la sangre de las venas situadas por debajo del corazón ascienda hacia éste? Ello depende de dos mecanismos. Uno de ellos se deriva del vacío parcial que se produce en la cavidad torácica durante la inspiración. Se recordará (ver Sección 13-8) que el vacío se produce por la dilatación de la cavidad torácica durante la inspiración. Esta, por tanto, no solamente hace posible la ventilación de los pulmones, sino que además contribuye al ascenso de la sangre desde las regiones inferiores del cuerpo. Un factor aún más importante, al respecto, es la **bomba muscular**. Consiste en la presión que ejercen los músculos en actividad sobre las venas que los atraviesan. Por supuesto, esta presión sería inútil si no hubiese un mecanismo que asegurara el desplazamiento de la sangre en una sola dirección.

Este mecanismo consiste en un sistema de válvulas que permiten que la sangre venosa fluya hacia el corazón, pero que al mismo tiempo impiden su regreso. Usted puede demostrar, en usted mismo, la presencia de estas válvulas, si frota fuertemente las venas cerca a la superficie interior de su antebrazo. Si frota la vena en dirección contraria con respecto al corazón, obliga a que la sangre golpee contra las válvulas. Con ello las válvulas se cerrarán y aparecerá una protuberancia en ese punto (Fig. 14-8). (Las paredes de las venas son bastante delgadas y flojas.)

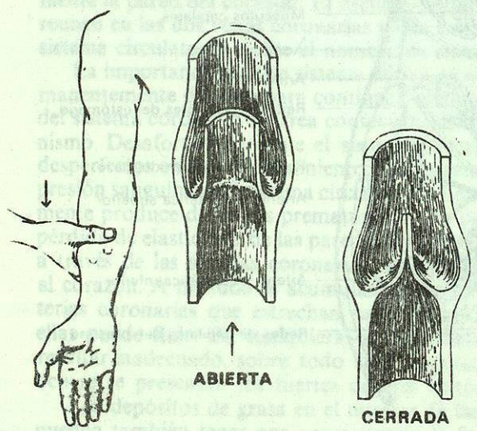

Fig. 14-8

Demostración de la presencia de válvulas en las venas de los brazos. Si se obliga a la sangre a regresar hacia una válvula cerrada, se produce una protuberancia en la vena, en el sitio junto a la válvula.

La importancia de la bomba muscular se pone en evidencia, de modo dramático, cuando los soldados se desmayan, después de haber permanecido en posición de «atención» durante largos períodos de tiempo. En estos casos la pérdida del conocimiento proviene del suministro inadecuado de sangre (y por consiguiente de oxígeno) al encéfalo. Esto se debe a la acumulación paulatina de sangre en las piernas como resultado de la inactividad de los músculos de la pierna. El desmayo es, en cierta forma, un excelente mecanismo de autoprotección en estos casos. Al pasar el cuerpo de la posición vertical a la posición horizontal, el corazón se sitúa al mismo nivel de las piernas, con lo cual la sangre de las piernas ya no necesita recorrer varios pies en contra de la gravedad; de esta manera pronto se restablece la circulación normal. El desmayo es más frecuente en los reclutas que entre los soldados veteranos. Estos últimos saben que flexionando ligeramente las rodillas y moviendo disimuladamente los músculos de la pantorrilla se evita el desmayo. Estas acciones ayudan a mantener el flujo de la sangre venosa en dirección ascendente.

El desarrollo de los aviones de alta velocidad (incluyendo cápsulas espaciales) ha creado un sinnúmero de problemas de fisiología humana a las cuales se exponen los tripulantes. Uno de éstos es la fuerza de gravedad (o «G») que se produce al elevarse de un vacío o en el momento de abandonar o de reincorporarse a la atmósfera terrestre. Estas fuerzas gravitacionales pueden impedir el regreso de la sangre de las partes inferiores del cuerpo al corazón y producir desmayo o «vértigo» en un momento crucial. Este problema ha podido ser resuelto mediante la confección de trajes de antigravedad. Las paredes de estos trajes se inflan con aire comprimido cuando comienza a aumentar la fuerza de gravedad. La presión que se ejerce sobre el cuerpo (y por consiguiente en las venas, las cuales por lo general están situadas cerca a la superficie) obliga el regreso de la sangre al corazón en contra de las fuerzas «G».

Debido a la escasa magnitud de las fuerzas que intervienen en el retorno de la sangre por las venas, el flujo es bastante uniforme. La sangre fluye en las venas en forma de una corriente continua y suave. Por esta razón y debido a que las venas yacen cerca a la superficie, es relativamente fácil controlar una hemorragia. Ello, sin embargo, debe hacerse mediante aplicación de presión al otro lado del corte y no en el lado más cercano al corazón.

Es un error muy frecuente pensar que las arterias son los vasos sanguíneos que llevan sangre oxigenada (rojo brillante) y que las venas son los vasos que portan sangre desoxigenada (rojo oscuro). Si bien este es el caso más frecuente en los humanos, hay una excepción sorprendente. ¿Podría usted pensar de qué se trata? Las arterias, por consiguiente, deben ser definidas como aquellos vasos que portan sangre del corazón hacia afuera. Las venas son aquellos vasos que portan sangre hacia el corazón.

LA SANGRE

La sangre es el medio de transporte del sistema circulatorio. Esta no solamente transporta oxígeno hacia los tejidos y bióxido de carbono hacia los pulmones desde los tejidos, sino también otros materiales, los cuales distribuye por todo el cuerpo. Entre estos materiales se encuentran moléculas alimenticias solubles (glucosa, aminoácidos), desperdicios metabólicos, por ejemplo, urea, iones de varias sales (por ejemplo Na^+, Ca^{++}, Cl^-, HCO_3^-) y las hormonas. La sangre también distribuye el calor en el cuerpo. Además de las funciones de transporte, la sangre desempeña un papel importante en el combate de los agentes de enfermedades infecciosas (por ejemplo, ciertos bacterios) que pueden penetrar en el cuerpo.

14-12 LOS CORPUSCULOS SANGUINEOS

La sangre es un tejido líquido. Consiste de células (fragmentos celulares) suspendidas libremente en un medio acuoso, el plasma. Las células y los fragmentos celulares constituyen los llamados elementos «figurados» de la sangre. Su tamaño es lo suficientemente adecuado para ser vistos con el microscopio de luz. Existen tres tipos de elementos figurados: los glóbulos rojos sanguíneos o eritrocitos, los glóbulos blancos o leucocitos, y las plaquetas o trombocitos.

1. Los **glóbulos rojos** (GRS). Superan en número a los otros dos tipos. Las mujeres normales poseen aproximadamente 4,5 millones de estas células por cada milímetro cúbico de sangre. Los hombres normales poseen un número promedio de aproximadamente cinco millones. Sin embargo, estos valores pueden fluctuar considerablemente, de acuerdo con factores tales como la altitud en la cual viven las personas (los peruanos que viven en lugares a cinco mil metros de altura pueden tener unos 8,3 millones) y del estado de salud del individuo.

Los GRS tienen la forma de disco. Tienen un diámetro de 7,5μ y un espesor en el borde de 2μ. El centro del disco es más delgado (1μ) que los bordes. La forma «bicóncava» que resulta aumenta el área de la superficie de la célula, con la cual se hace más rápido el intercambio de gases entre el GRS y el plasma.

En los adultos los GRS se producen en células especiales (Fig. 14-9) localizadas en la médula de los huesos, particularmente de las costillas, del esternón y de las vértebras. Al principio los GRS poseen un núcleo y pocas cantidades de hemoglobina. Sin embargo, a medida que maduran, la cantidad de hemoglobina presente en la célula aumenta hasta que se alcanza la cifra de 280 millones de moléculas, lo cual representa el 90 por 100 del peso seco de las células. Al final de este proceso de síntesis de hemoglobina el núcleo abandona la célula. Probablemente la ausencia de núcleo determina un límite definido en la vida de estas células. La vida de los GRS dura aproximadamente 120 días.

La muerte de un GRS ocurre cuando la membrana celular se rompe en el momento de escurrirse a través de un capilar. Los fragmentos de la célula rota son ingeridos por células fagocíticas presentes en el hígado en una estructura en forma de saco denominada bazo. La mayor parte del hierro presente en las moléculas de hemoglobina es recuperada; el resto de la molécula se descompone. Algunos de los productos resultantes —los pigmentos biliares— son secretados por el hígado junto con la bilis. Se ha calculado que cada segundo mueren de uno a dos millones de GRS, los cuales son transformados por el hígado y el bazo.

La pérdida continua de GRS normalmente es compensada mediante la acción de la médula de los huesos; en efecto, la médula de los huesos puede producir, si es necesario, glóbulos rojos a una rata cuatro veces, o más, mayor que la rata de destrucción normal. Por ejemplo, después de una hemorragia fuerte (o después de una donación de sangre) la médula de los huesos rápidamente restituye el contenido normal de glóbulos rojos en la sangre.

Bajo ciertas circunstancias la rata de pérdida de GRS es mayor que la rata de formación de GRS. Cuando esto ocurre la concentración de GRS en la sangre disminuye y se dice que ese individuo sufre de **anemia**. Por lo general, las distintas formas de anemia responden satisfactoriamente a tratamiento médico.

2. Los **glóbulos blancos** (GBS) son menos numerosos que los glóbulos rojos. La proporción numérica entre estos dos tipos es aproximadamente de 1 : 700. Existen cinco tipos diferentes

de GBS en la sangre (Fig. 14-9). Todos poseen núcleo. Su tamaño oscila entre aquel de los linfocitos cuyo tamaño no sobrepasa (10μ) al de los glóbulos rojos y el de los monocitos, que pueden ser tres veces más grandes (25μ). La forma de los GBS es bastante variable, especialmente cuando circulan a través de los capilares.

La función general de los GBS consiste en proteger el organismo de infecciones. Los **neutrófilos** y los **monocitos** acometen esta función ingiriendo por fagocitosis partículas extrañas (por ejemplo, bacterios) que penetran en el cuerpo. En presencia de una cierta sustancia química, los leucocitos, en cumplimiento de su función, migran hacia las redes capilares situadas cerca de las áreas donde ocurre la destrucción de los tejidos. Allí se deslizan a través de los poros de las paredes de los capilares y, una vez que se hallan libres en los tejidos, inician la fagocitosis. El bacterio, u otra partícula, es engolfada en una vacuola. Este se une a un lisosoma cuyas enzimas destruyen el bacterio. Los gránulos que abundan en el citoplasma de los neutrófilos son lisosomas. A medida que avanza el proceso de fagocitosis el número de lisosomas decrece rápidamente. Por lo general, la fagocitosis termina con la muerte del GBS. La acumulación de glóbulos blancos muertos y de los productos de descomposición de los tejidos se denomina pus.

Aunque los neutrófilos poseen un núcleo y todas las demás estructuras celulares, su tiempo de vida es relativamente corto. Aun en personas sanas mueren después de pocos días. Usted podría preguntarse, ¿por qué estas células mueren tan pronto, cuando no existe una infección activa por combatir? La respuesta consiste en que los fagocitos están permanentemente comprometidos en el control de los bacterios que residen permanentemente en la boca, en los conductos aéreos, en el intestino grueso (ver Sección 10-11) y en otras partes. Gracias a este control podemos tolerar la presencia de tales bacterios. Sin embargo, y debido a una variedad de circunstancia (ejemplo, contagio, dieta inadecuada, fatiga severa) puede debilitarse la resistencia, y los bacterios pueden invadir nuestros tejidos. Ilustra esta situación de manera dramática la enfermedad denominada *agranulocitosis*. Cuando ocurre esta enfermedad cesa la producción de leucocitos. La exposición intensa a las radiaciones, como aquellas que se producen cuando estalla una bomba atómica, puede ser una de las muchas causas de la enfermedad agranulocitosis. Si se ha suspendido la producción de leucocitos cuya reproducción había sido posible controlar comienzan ahora a multiplicarse. Al cabo de dos días se presentan ulceraciones en la boca y en el intestino grueso o también graves infecciones en los pulmones. Pronto la infección se extiende por todo el organismo. A menos que un tratamiento con base en antibióticos se inicie pronto, la muerte se produce en pocos días. La agranulocitosis es uno de los tantos riesgos de la era atómica. Ilustra, también, de modo excelente, la importancia de los leucocitos que consiste en mantener una difícil tregua con las diferentes especies de bacterios que se albergan en nuestros cuerpos.

Los **linfocitos**, por lo general, no fagocitan. Sin embargo, combaten las enfermedades mediante su participación en la formación de **anticuerpos**. Los anticuerpos son proteínas que se producen siempre que una macromolécula penetra en el cuerpo. Estas macromoléculas extrañas reciben el nombre de **antígenos**. Pueden actuar como antígenos las proteínas extrañas, los polisacáridos y las moléculas de ácidos nucleicos.

La relación entre antígenos y anticuerpos es bastante específica. Cada antígeno estimula la producción de la molécula de un anticuerpo, por lo general capaz de combinarse directamente con ese antígeno y no con otros. Cuando el antígeno y el anticuerpo se combinan, el complejo resultante presenta propiedades diferentes de aquellas de sus dos componentes. Por ejemplo, el complejo puede precipitarse en una solución o puede ser engolfado más fácilmente mediante fagocitosis.

Un parásito que penetre en el organismo, por ejemplo, un bacterio, un virus, posee en su superficie macromoléculas extrañas para el hospedante, y por consiguiente, antigénicas. Por ello, la capacidad de fabricar anticuerpos contra estos antígenos y así lograr su desactivación constituye definitivamente un arma importante contra las invasiones de organismos que producen enfermedades.

Los linfocitos aparentemente llevan la información requerida para poder fabricar un anticuerpo dado, pero nunca lo hacen mientras circulan en la sangre. El núcleo del linfocito prácticamente llena el espacio celular. El citoplasma es muy reducido y, por consiguiente, el retículo endoplásmico tampoco es extenso. Los anticuerpos son proteínas, y como tales, requieren para su síntesis un retículo endoplásmico.

Existen pruebas, sin embargo, de que cuando los linfocitos son transportados por la sangre hacia una región que contenga las moléculas antígenas, penetran en el área infectada y se transforman en células plásmicas productoras de anticuerpos (Fig. 14-9). El citoplasma aumenta notablemente de tamaño y se desarrolla un retículo endoplásmico complejo. Se ha demostrado que en el interior de las células plásmicas existen cantidades considerables de anticuerpos dentro del retículo endoplásmico.

El porcentaje de **eosinófilos** y **basófilos** en la sangre es normalmente muy bajo. Su función aún no ha sido comprendida aunque existe evidencia indirecta en el sentido de que cada uno de estos dos tipos de corpúsculos sanguíneos desempeña un papel en el control de las enfermedades. En ciertas enfermedades el número de eosinófilos se eleva notablemente, especialmente en aquellas enfermedades causadas por gusanos parasitarios. El número de basófilos se aumenta también durante las infecciones. Aparentemente aquellos que se encuentran en el área de la infección liberan sustancias que incrementan el flujo sanguíneo en la misma área y, por consiguiente, reducen la tendencia de la sangre a coagularse (Sección 14-22). Si bien resta todavía mucho por aclarar acerca de las funciones de los diversos tipos de glóbulos blancos, está establecido que cada uno de ellos, de modo particular, contribuye a la defensa del cuerpo contra las enfermedades. En el Capítulo 36 se presentarán otras pruebas en apoyo de este punto de vista.

Los linfocitos y los monocitos se forman en el bazo y en los ganglios linfáticos (Sección 14-17), a partir de células del mismo tipo de aquellas que originan los demás leucocitos. El resto se forma en la médula de los huesos. Raras veces las células que fabrican leucocitos se tornan cancerosas. Cuando esto ocurre el número de leucocitos se vuelve mucho más grande que el normal; la enfermedad se conoce con el nombre de **leucemia**. Esta enfermedad está acompañada de una variedad de síntomas perturbadores (incluyendo a menudo anemia severa). Mediante tratamiento médico de ciertas formas de esta enfermedad se puede lograr retardo en el desarrollo de los síntomas y prolongar la vida del paciente por muchos años. Sin embargo, la enfermedad es todavía incurable.

3. Las plaquetas son simplemente fragmentos celulares producidos por células de mayor tamaño de la médula de los huesos. Tienen la forma de disco, y son más pequeñas (2μ) que los GRS. Normalmente existen de 150.000 a 400.000 plaquetas por cada milímetro cúbico de sangre. Como habremos de verlo (Sección 14-22), las plaquetas desempeñan un papel muy importante en el proceso de coagulación de la sangre.

14-13 EL PLASMA

El flúido en el cual se encuentran suspendidos todos los elementos «figurados» se llama plasma y es de un color pajizo. La figura 14-10 muestra la composición química del plasma. En gran parte está constituido por agua. El agua es un solvente excelente y gracias a esta propiedad es también un excelente medio de transporte. En el agua del plasma se hallan disueltas variedad de moléculas y de iones. Estos son transportados por la sangre desde un órgano de intercambio (por ejemplo, el intestino) o de reserva (por ejemplo, el hígado, en cuanto se refiere a la glucosa, o los huesos, en cuanto se refiere al Ca^{++}), hacia los tejidos que los requieran.

Además de las pequeñas moléculas y de los iones en solución, el plasma contiene también una cantidad importante (7 por 100) de proteínas. En el plasma existen tres fracciones principales de proteínas.

1. Seroalbúmina. La albúmina es fabricada por el hígado, ayuda al mantenimiento del volumen de sangre y, por consiguiente, de la presión sanguínea. La manera como se obtiene este efecto se discute más adelante.

2. Seroglobulina. Esta fracción proteica no es homogénea; es decir, hay muchas proteínas específicas en la sangre que reciben el nombre colectivo de globulina. Algunas son enzimas y otras, las globulinas gama, son anticuerpos circulantes. Quizás en alguna ocasión usted haya recibido una inyección de gamaglobulinas para protegerse temporalmente contra el sarampión o la polio.

3. Fibrinógeno. Es un componente esencial para el proceso de coagulación. (Sección 14-22).

Además de desempeñar funciones especiales todas las proteínas del plasma son sustancias amortiguadoras. Su presencia en el plasma impide cambios bruscos del pH. Las proteínas pueden combinarse tanto con los ácidos como con las bases, y así evitar cambios bruscos en el balance ácido-base del plasma (Sección 9-2, 7).

FUNCIONES DE LA SANGRE