



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Académico Profesional de Física

**Relación del flujo presión sanguínea y resistencia  
vascular en la circulación sistémica**

**MONOGRAFÍA TÉCNICA**

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física

**AUTOR**

Rodolfo Luis SONCO CUTIRE

Lima, Perú

2009



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Sonco, R. (2009). *Relación del flujo presión sanguínea y resistencia vascular en la circulación sistémica*. Monografía Técnica para optar el título profesional de Licenciado en Física. Escuela Académico Profesional de Física, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

---

*Dedicado a mis padres:*

*Luis y Sixta*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mis padres y mis hermanos*

*A mi amigos que me apoyaron, en especial a Miguel*

*Uno en especial a mi asesor por su comprensión y solidaridad en la realización de este trabajo*

*A Dios por guiar mis pasos y ser mi soporte moral.*

## **RESUMEN**

La presente monografía tiene como objetivo conocer el funcionamiento y comportamiento del sistema circulatorio sistémico, partiendo de la descripción de los elementos que lo conforman, para luego así relacionarlos con los modelos y unidades físicas que expliquen ello (las relaciones de presión, flujo sanguíneo y resistencia vascular), y así poder interpretar las anomalías y/o alteraciones que existen en el organismo humano

La complejidad en su funcionamiento del cuerpo humano (del sistema circulatorio sistémico), nos hace notar que debemos considerar varios factores (como longitud, diámetro, viscosidad, elasticidad, tensión, entre otros), por orden de importancia, para así poder entender, interpretar y/o realizar analogías con los modelos físicos que nos expliquen el comportamiento del organismo humano.

Con el conocimiento de la física en la medicina, se pueden ser mas precisos en hacer un análisis de diagnóstico, frente a una alteración del funcionamiento del cuerpo humano.

## CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| <b>CAPITULO I: INTRODUCCION</b>  | 2  |
| <b>CAPITULO II: SISTEMA CIRCULATORIO HUMANO</b>                                    | 4  |
| <b>CAPITULO III: PRESION, FLUJO SANGUINEO Y RESISTENCIA VASCULAR</b>               | 12 |
| <b>CAPITULO IV: RELACION DE PRESION, FLUJO SANGUINEO Y RESISTENCIA VASCULAR</b>    | 15 |
| <b>CAPITULO V: COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA VASCULAR AL PASO DEL FLUJO SANGUINEO</b> | 20 |
| <b>CAPITULO VI: LA SANGRE Y EFECTOS EN LA CIRCULACION SISTEMICA</b>                | 26 |
| <b>CAPITULO VII: LA CIRCULACION Y SALUD</b>  | 29 |
| CONCLUSIONES   | 32 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS   | 33 |
| GLOSARIO DE TERMINOS   | 34 |

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION**

La física de la Fisiología se ocupa del estudio de las funciones del cuerpo humano, de las características y de los mecanismos específicos del cuerpo humano que hacen de él un ser vivo.

Al examinar a un paciente, el médico realiza un examen “físico”, que consiste en medir el pulso, la temperatura, la presión, escuchar sonidos del corazón y pulmones. Todas ellas son medidas físicas.

En este caso estudiaremos, el sistema circulatorio (sistema circulatorio sistémico) del organismo humano, su comportamiento y la relación del flujo, presión sanguínea y resistencia vascular.

Lo importante es entender como funciona el cuerpo humano, de esta forma podremos saber cuando no está funcionando bien, y hacer un análisis y diagnóstico más preciso para corregir el daño.

En la monografía conoceremos el recorrido que realiza la sangre a través del sistema circulatorio (sistémico), así como el comportamiento de los conductos (vasos sanguíneos) y su relación con el flujo, presión sanguínea y resistencia vascular, en el organismo humano. Donde una parte de la física explica su funcionamiento.

Este material también nos hará notar sobre la importancia de conocer los conceptos y unidades físicas para poder interpretar un posible mal funcionamiento del organismo humano, de manera que se pueda detectar y/o diagnosticar ciertas enfermedades, así como también hacer un buen uso de la instrumentación médica, entendiendo el porque de las causas.

En el capítulo II se describe al sistema circulatorio sistémico, sus componentes como también sus funciones. En el capítulo III definimos al flujo, presión sanguínea y resistencia vascular, y otros factores importantes a considerar. En



el capítulo IV se desarrolla la relación existente entre la presión, flujo sanguíneo y la resistencia vascular (en los vasos sanguíneos); así como, otros parámetros que influyen en la libre circulación sanguínea, se explica también esta relación a través de la física (formulas a considerar), notando también las limitaciones que tienen. En el capítulo V, se hará notar que en el sistema circulatorio (sus conductos sanguíneos) varían su comportamiento frente a la actividad muscular y/o posturas que toma la persona, y notamos también límites de funcionamiento promedio normal en un cuerpo sano. En el capítulo VI se analiza a la sangre como elemento principal que fluye a través del sistema circulatorio humano, y que es afectada por la viscosidad, siendo este un factor a considerar por que altera la resistencia vascular. En el capítulo VII se habla de las actividades y cuidados que se debe tomar en cuenta para mantener saludable al organismo humano. Y notamos también algunos casos de alteraciones y anomalías en su funcionamiento y sus posibles diagnósticos.

## **CAPITULO II**

### **EL SISTEMA CIRCULATORIO HUMANO**

En la mayoría de los vertebrados su sistema circulatorio consta de un órgano propulsor (el corazón) y conductos (vasos sanguíneos), por donde fluyen los líquidos circulantes.

El sistema circulatorio, desempeña la función de satisfacer las necesidades de los tejidos; transportar nutrientes a los tejidos, llevarse los productos de desecho, conducir hormonas de una parte del cuerpo a otra y, en general, mantener un ambiente apropiado en todos los líquidos tisulares para una supervivencia y función óptimas de las células.

En este caso hablaremos del sistema circulatorio del Cuerpo Humano, este está conformado por tres elementos principales: el corazón que genera el régimen forzado (bomba), los vasos sanguíneos que forman parte de la distribución (conductos), y la sangre que es el fluido que circula. Juntos estos elementos mantienen un flujo continuo de sangre en todo el cuerpo. El corazón bombea sangre rica en oxígeno desde los pulmones a todas las partes del cuerpo a través de una red de tubos llamados arterias, y las ramas más pequeñas arteriolas. La sangre vuelve al corazón a través de pequeños conductos llamados vénulas, que conducen a su vez a grandes tubos llamados venas. Arteriolas y venulas están unidas por una red de pequeños vasos llamados capilares, donde se produce el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono que entra en la sangre.

#### **El Corazón**

El corazón es prácticamente, la bomba impulsora de la sangre en el sistema circulatorio; tiene aproximadamente el tamaño de un puño y consta de cuatro cámaras o cavidades musculares, dos aurículas y dos ventrículos, que se extienden unas junto a otras separadas por una vaina muscular denominada tabique.

Las aurículas son cámaras de pared fina que reciben sangre de las grandes venas y la pasan a los ventrículos. Estos proveen la fuerza necesaria para el

bombeo de la sangre hacia las circulaciones pulmonar y sistémica. La sangre primero circula por los pulmones y posteriormente por el resto del cuerpo. Al músculo del corazón se le denomina miocardio.

Las aurículas están separadas de los ventrículos por medio de una estructura fibrosa sobre la que se sitúan las cuatro válvulas cardíacas. Las válvulas facilitan el flujo unidireccional de la sangre desde los ventrículos hacia las arterias pulmonares y la aorta. Las válvulas auriculoventriculares impiden el flujo retrogrado de la sangre desde los ventrículos hacia las aurículas.

El corazón está recubierto por un saco fibroso duro denominado pericardio que le impide expandirse en exceso debido a un llenado exagerado de la sangre.

### **Volumen Sanguíneo**

El volumen total ocupado por la sangre recibe el nombre de volemia (volumen sanguíneo), es el volumen de agua y el volumen ocupado por los sólidos del plasma y los sólidos de las células sanguíneas. La volemia es de unos 70 a 80 mL de sangre por kilogramo de peso corporal, para un sujeto de 70 Kg, y unos 4900 a 5600 mL de sangre. Un valor fácil de recordar, y que usaremos de aquí en adelante, es de 5000 mL (5L) para un adulto sano.

El volumen de la sangre circulante representa alrededor del 7 al 8 % del peso corporal, de modo que un hombre de 70 Kg. de peso tendrá alrededor de 5 L.

Si pudiéramos detener bruscamente la circulación y medir el volumen de sangre en las distintas partes del cuerpo y en los distintos segmentos del árbol arterial, veríamos que estos 5 litros de sangre no están homogéneamente distribuidos por todo el sistema circulatorio. El corazón y los pulmones contienen cada uno, aproximadamente, 600 mL de sangre y las arterias sistémicas, otros 500 mL, mientras que los capilares poseen una cantidad menor (unos 250 mL). La mayor parte de la sangre (alrededor de 3,5 L) se localiza en las venas. Por consiguiente, las venas actúan como reservorios de sangre y se denominan vasos de capacitancia. Hay más sangre por debajo del diafragma que por arriba de él y esta diferencia aumenta notablemente cuando el sujeto se pone de pie. También hay más sangre en las venas, en especial en las de pequeño calibre, que en el sector arterial y muchísimo más que en

los capilares. Esto nos da una idea de la capacidad y distensibilidad de las venas para almacenar sangre.

### **Gasto Cardíaco**

El volumen de sangre bombeada a partir del ventrículo cada minuto se conoce como el nombre de Gasto Cardíaco. Donde el corazón, actuando como una bomba mecánica, impulsa la sangre por la aorta. Al volumen de sangre que pasa en un minuto por la aorta se le llama **caudal o flujo (Q)** y, se mide en cualquiera de las unidades siguientes:

L/s; cm<sup>3</sup>/min; cm<sup>3</sup>/s; mL/ min; L/ min; etc.

Sin embargo, lo habitual es hablar del gasto cardíaco en litros por minuto. Cuando se quiere realizar algunos cálculos hemodinámicas se usan las unidades mL/min o cm<sup>3</sup>/s.

En un adulto en reposo el gasto cardíaco es de aproximadamente de 5 L/min (4-7 L/min), pero durante la vida varía continuamente de acuerdo con las necesidades de oxígeno de los tejidos corporales. Por ejemplo durante el sueño disminuye y aumenta después de una comida copiosa o en condiciones de miedo o excitación. Ya que durante un ejercicio intenso puede aumentar hasta 5 veces su valor que cuando está en reposo.

En la aorta no es el único sitio donde se puede medir el gasto cardíaco. Si pasan 5 L/min por la aorta, ese será el caudal de la vena cava inferior y la vena cava superior sumados. Ese será también el caudal de la arteria pulmonar y el caudal de todas las venas pulmonares.

Obviamente, si del ventrículo izquierdo salen 5 L/min, por todos los capilares pasan 5 L/min. Lo que sí no hay duda es que es más sencillo medir el flujo en la aorta que, al mismo tiempo, en todos los capilares y es por eso que, cuando se habla de **gasto cardíaco** se refiere, por lo general, a una medida hecha a la salida del ventrículo izquierdo.

El corazón es una bomba que expulsa la sangre siguiendo ciclos o latidos formados por la diástole, período durante el cual la sangre ingresa al corazón y la sístole en que es expulsada.

Estos ciclos se repiten con una frecuencia cardíaca (  $f$  ) de unos 80 latidos por minuto en reposo hasta más de 180 por minuto durante el ejercicio. Si aceptamos un gasto cardíaco de 5 L/min y una frecuencia de 80 latidos/min tendremos que por cada sístole se expulsan  $5000 \text{ mL}/80 = 62,5 \text{ mL}/\text{latido}$  se conoce como volumen latido o volumen sistólico ( $v_s$ ). Sería lógico pensar que si se aumenta la frecuencia cardíaca aumenta simultáneamente el gasto cardíaco, ya que:

$$Q = f \cdot v_s$$

Sin embargo, se necesita un tiempo para llenar las cavidades cardíacas y al aumentar la frecuencia este tiempo disminuye el tiempo de llenado de los ventrículos, lo que provocaría una disminución de  $v_s$ , y  $Q$  no aumentaría en forma lineal con la frecuencia y la relación anterior sólo es válida a  $v_s$  constante. El cambio de cualquiera estas variables ( $f$  ó  $v_s$ ), producirán alteraciones del gasto cardíaco. Las hormonas, los nervios autónomos, mecanismos intrínsecos del corazón regulan el gasto cardíaco

### **Ciclo Cardíaco**

Se llama ciclo cardíaco a la alternancia regular de periodos de relajación o diástole y de contracción o sístole.

El ciclo cardíaco hace referencia a este patrón repetido de contracción o sístole y relajación o diástole del corazón. Esta acción de relajación y contracción que realiza el corazón hace que este se comporte como una bomba que propulsa sangre desde el sistema venoso hasta el arterial. Consta de dos fases principales: la diástole, durante la cual las cavidades se relajan y se llenan de sangre, y la sístole, durante la cual los ventrículos se contraen y expulsan sangre hacia los circuitos pulmonar y sistémico. El corazón realiza el bombeo de la sangre en dos fases y/o pasos automáticamente.

En un individuo en reposo su corazón tiene una frecuencia cardíaca (latido) de de aproximadamente 80 lat./min y cada ciclo cardíaco dura alrededor de 0,8 s, con una duración de 0,3 s para la sístole y de 0,5 s para la diástole. Además de bombear todo los días unos 7,000 litros de sangre.

El corazón puede entenderse como una bomba aspirante-impelente; ya que la contracción del músculo provoca el flujo de sangre hacia la periferia, mientras

que la relajación del mismo, relaciona como los movimientos respiratorios, ayudan a la sangre a su retorno.

Desde el punto de vista clínico, la frecuencia cardiaca en reposo inferior a 60 lat/min. se denomina braquicardia, mientras que superior a 100 se denomina taquicardia. Estos términos también se aplican para describir cualquier disminución o aumento significativo en la frecuencia cardiaca. Además que durante los ciclos cardiacos se pueden detectar los ruidos cardiacos con el estetoscopio.

### **Presión Arterial**

Viene hacer el empuje que ejerce la sangre por unidad de superficie sobre la pared de la arteria. Debido a su elasticidad, las arterias transforman el flujo intermitente pulsátil en continuo.

La presión arterial varía durante el ciclo cardiaco. Se identifican valores máximos durante la sístole y mínimos durante la diástole.

En un adulto joven y sano en reposo, la presión sistólica es de unos 16 KPa (120 mmHg) mientras que la presión diastolica es de unos 10,7 KPa (80 mmHg), lo que normalmente se escribe como 16/10,7 KPa o 120/80 mmHg. La diferencia entre la presión sistólica y la diastolica (normalmente de unos 5,3 KPa o 40 mmHg) se denomina presión de pulso.

Ahora calcularemos la presión arterial media (PAm), esta viene dado por:

$$PAm = \text{presión arterial diastolica} + \frac{1}{3} (\text{presión de pulso}) = 93.3 \text{ mmHg}$$

Desde el punto de vista circulatorio, la más importante es la presión circulatoria media, también conocida por, presión estática o presión aortica.

A pesar de que es útil recordar que 16/10,7 KPa (120/80 mmHg), también es importante comprender que diversos factores influyen en la presión arterial, incluso en reposo. Probablemente el efecto mas obvio es la edad, de modo que a las 70 años, la presión arterial media es de 24/12 KPa (180/90 mmHg). Este incremento de la presión arterial se debe a la reducción de la elasticidad de las arterias (arteriosclerosis o endurecimiento de las arterias). Por ello, a la elevación de la presión arterial (presión diastolica superior a 13 KPa o 100mmHg) se denomina hipertensión y es un trastorno muy frecuente. Las

complicaciones vasculares asociadas a la hipertensión son los accidentes cerebro vasculares, las cardiopatías y la insuficiencia renal crónica.

### Los Vasos Sanguíneos

Los vasos sanguíneos (arterias, arteriolas, capilares, venulas y venas) son conductos elásticos que distribuyen la sangre a todo el organismo. Se estima que una persona adulta tiene una longitud de 125,000 Km. de vasos sanguíneos que recorren todo el organismo.

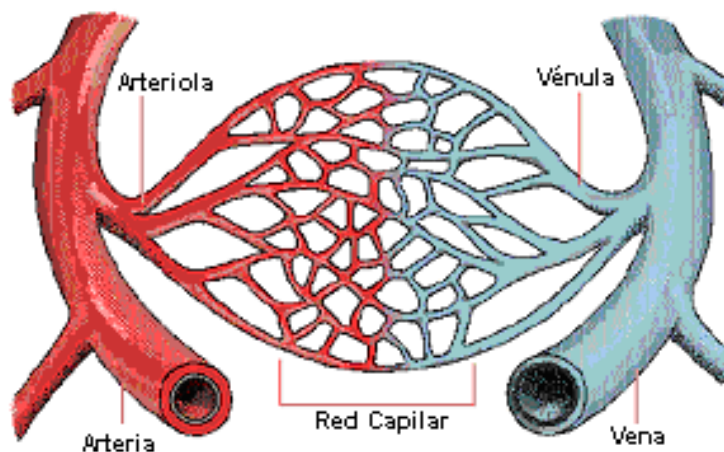


Figura 2.1 El vaso sanguíneo muestra los conductos por donde fluye la sangre.

La función de **las arterias** es transportar sangre a una presión elevada a los tejidos. Por esta razón, las arterias tienen paredes vasculares fuertes, y la sangre fluye con rapidez en las arterias. Estos son los vasos primarios de distribución y se subdividen en arterias elásticas (de 1-2 cm. de diámetro), y las arterias musculares (fluctúan de 1 mm hasta 1 cm. de diámetro).

**Las arteriolas** son las últimas ramas pequeñas del sistema arterial, y actúan como conductos de control a través de los cuales la sangre pasa a los capilares. La arteriola tiene una fuerte pared muscular que puede cerrar la arteriola por completo o dilatarla varias veces, lo que le da la capacidad de alterar enormemente el flujo sanguíneo que llega a los capilares en respuesta de las necesidades de los tejidos. Son vasos de paredes finas (de 5 - 8  $\mu\text{m}$  de diámetro).

La función de **los capilares** es intercambiar líquido, nutrientes, electrolitos, hormonas y otras sustancias entre la sangre y el líquido intersticial. Para esta función, las paredes de los capilares son muy delgadas y poseen numerosos

poros capilares diminutos permeables al agua y otras moléculas pequeñas. Son de unos 20  $\mu\text{m}$  de diámetro.

**Las venulas** recogen la sangre de los capilares; gradualmente se unen para formar venas cada vez más mayores.

**Las venas** actúan como conductos de transporte de la sangre desde los tejidos hasta el corazón, pero de forma igualmente importante sirven como reservorio fundamental de la sangre. Debido a que la presión de la sangre en el sistema venoso es muy baja, las paredes venosas son delgadas. Incluso así, tienen el músculo suficiente como para contraerse o dilatarse y, por tanto, actuar como un reservorio controlable de sangre adicional, en pequeña o gran cantidad, dependiendo de las necesidades de la circulación.

### **Características del Sistema Circulatorio**

El sistema de conductos que conforman el sistema circulatorio del hombre (Fisiológicamente es un circuito cerrado y continuo), son la **circulación general** o **sistémica** y la **circulación pulmonar**. Estos dos circuitos están dispuestos en serie de modo que una partícula que pase por la aorta obligatoriamente deberá pasar por la arteria pulmonar y el flujo de sangre y los mililitros por minuto que pasan por la aorta, serán los mismos que pasan por la arteria pulmonar. Por el contrario, los distintos órganos irrigados por la circulación general están dispuestos en paralelo con respecto la aorta y las venas cavas. Lo mismo ocurre en la circulación pulmonar con los pulmones y sus lóbulos con respecto a la arteria pulmonar y las venas pulmonares. Una partícula que sale, por ejemplo, del ventrículo izquierdo tiene varios caminos para llegar a la aurícula derecha y los flujos por las distintas resistencias pueden ser distintos. Una característica importante del sistema arterial del hombre es la forma en que se va bifurcando. Siempre que de un tronco se generen ramas, la suma del área de sección transversal de las ramas será mayor que el área de sección del tronco original. Mientras que la sección de una arteria es menor que la sección de la aorta, la sección total de las arterias, dada por la sumatoria de las áreas de sección de todas las arterias será mayor que el área de sección de la aorta. Esto mismo ocurre con arteriolas y capilares y sigue un proceso inverso en venas. Si el área de la aorta puede estimarse en



7 cm<sup>2</sup>, el área de todos los capilares es superior a los 4000 cm<sup>2</sup>, aunque el radio de un capilar sea de 8 μm = 8 x 10<sup>-4</sup> cm y su área de 2 x 10<sup>-6</sup> cm<sup>2</sup>.

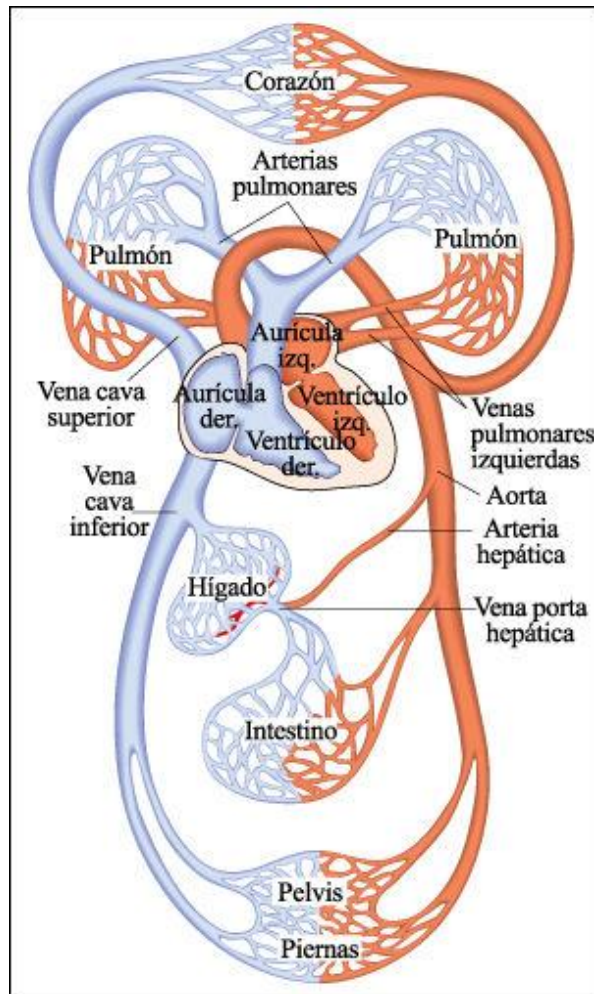


Figura 2.2 Sistema Circulatorio Humano

Lo que se mueve por el sistema circulatorio del hombre es **sangre**, compuesta por agua y sustancias disueltas formando soluciones verdaderas (glucosa, urea, ácido úrico, bicarbonato, sodio, potasio, etc.), soluciones coloidales (proteínas plasmáticas) y suspensiones (eritrocitos).

Todo ello forma un líquido que presenta **viscosidad**. Por ahora sólo es necesario entender que la viscosidad es una propiedad del líquido que se opone a que éste fluya. Dicho de otra manera, porque la sangre tiene viscosidad, en el sistema circulatorio existe una resistencia al flujo de sangre. Y, siguiendo con este razonamiento, si pese a la resistencia, la sangre fluye de un modo constante, es porque existe una fuente de energía, una bomba, el corazón, que permite recuperar la energía que se pierde por efecto de la viscosidad.

## **CAPITULO III**

### **PRESION, FLUJO SANGUINEO Y RESISTENCIA VASCULAR**

#### **FLUJO SANGUINEO**

El flujo sanguíneo significa simplemente la cantidad de sangre que pasa por una sección transversal en la circulación en un periodo dado. Habitualmente, el flujo sanguíneo (caudal  $Q$ ) se expresa en mililitros por segundo o litros por minuto, pero se también puede expresarse en mililitros por segundo o en cualquier otra unidad de flujo. El flujo sanguíneo total en la circulación de una persona adulta en reposo es de aproximadamente 5000 mL/min. A esto se le llama gasto cardiaco, por que es la cantidad de sangre bombeada por el corazón en cada minuto.

#### **PRESION SANGUINEA**

La presión sanguínea se mide casi siempre en milímetros de mercurio (mm Hg) por que el manómetro de mercurio se ha utilizado desde la antigüedad como modelo de referencia para medir la presión. En realidad, presión sanguínea significa la fuerza ejercida por la sangre por unidad de área de la pared del vaso. Cuando decimos que la presión en un vaso es de 50 mm Hg, queremos decir que la fuerza ejercida es suficiente para sostener una columna de mercurio contra la gravedad a una altura de 50 mm. Si la presión es de 100mm Hg, sostendrá una columna de mercurio de 100 milímetros de altura.

#### **RESISTENCIA VASCULAR**

La resistencia es la dificultad al paso del flujo de sangre a través del vaso, pero no se puede medir en forma directa. En su lugar, la resistencia se determina midiendo el flujo sanguíneo y la diferencia de presión entre dos puntos del vaso. Si la diferencia de presión entre dos puntos en un vaso es 1mm Hg y el flujo es de 1 mL/s, se dice que la resistencia es de 1 unidad de resistencia periférica, habitualmente abreviada PRU (siglas de peripheral resistance unit).

En ocasiones, la resistencia se expresa en una unidad física llamada CGS (centímetros, gramos y segundos). Esta unidad es la

dina.segundos/centímetros<sup>5</sup>. La resistencia en estas unidades se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

En unidades cgs:

$$R = \frac{\Delta P}{Q} = \frac{\left(\frac{F}{A}\right)}{\left(\frac{v}{t}\right)} = \frac{\left(\frac{\text{dina}}{\text{cm}^2}\right)}{\left(\frac{\text{cm}^3}{s}\right)} = \left(\frac{\text{dina} \cdot s}{\text{cm}^5}\right), \text{ donde } v \text{ es el volumen}$$

Entonces:

$$R = \left(\frac{\text{dina} \cdot s}{\text{cm}^5}\right) = \frac{1333\text{mmHg}}{\text{mL}/s}$$

En fisiología es común usar como las unidades de presión, en mmHg.

La resistencia que ofrece un vaso sanguíneo al flujo de la sangre se expresa mediante la ley de Poiseuille, que afirma que el flujo sanguíneo es proporcional a la cuarta potencia del radio del vaso e inversamente proporcional a la viscosidad. Por consiguiente, en un vaso con un radio que sea mitad del otro, el flujo se reducirá en 1/16 por una misma diferencia de presión.

**La ley de Poiseuille** relaciona cuantitativamente el flujo de un líquido a través de un tubo rígido con presión dinámica. La ecuación que describe esta relación es la siguiente:

$$Q = (P_0 - P_1) \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

Donde  $Q$  es el caudal,  $P_0$  y  $P_1$  la presión al principio y al final del tubo respectivamente,  $r$  el radio del tubo,  $l$  longitud del tubo y  $\eta$  la viscosidad del líquido. Por consiguiente, para un líquido determinado, por ejemplo la sangre, cuanto mayor es el diámetro del tubo, mayor es el flujo para una diferencia de presión dada.

Esta ecuación de la ley de Poiseuille puede reordenarse de manera análoga a la ley de Ohm para proporcionar una descripción de la resistencia hidráulica  $R$ , que es la forma convencional de describir la relación entre presión arterial y el flujo sanguíneo de la circulación.

$$R = \frac{(P_0 - P_1)}{Q} = \frac{8 \cdot \eta \cdot l}{\pi \cdot r^4}$$

Esta redistribución deja claro que la resistencia del flujo sanguíneo se relaciona directamente con la longitud de un vaso sanguíneo y la viscosidad de la sangre, pero se relaciona inversamente con la cuarta potencia del radio, de modo que, cuanto más pequeño es el diámetro de un vaso sanguíneo, mayor es la resistencia.

La ley de Poiseuille es válida estrictamente para un flujo laminar, pero si el gradiente de presión a lo largo del tubo aumenta, el flujo se volverá en último término irregular y se producirán turbulencias. Una vez que se han producido turbulencias, se requerirá proporcionalmente más presión para obtener un mismo aumento de flujo. La presión crítica a la cual el flujo deja de ser laminar está determinada por un coeficiente conocido como número de Reynolds ( $Re$ ). Los estudios han demostrado que la turbulencia es más probable a flujos más elevados en tubos amplios que poseen un área de sección irregular, por ejemplo en un vaso sanguíneo de gran diámetro que se ramifica, como la aorta. Pero excepto en la aorta durante el flujo máximo, normalmente en los vasos sanguíneos sanos no se alcanza el número de Reynolds.

## CAPITULO IV

### RELACION DE PRESION, FLUJO SANGUINEO Y RESISTENCIA VASCULAR

El flujo de sangre a través de cualquier parte del sistema circulatorio (vasos sanguíneos), esta determinado por dos factores: 1) La diferencia de presión entre los dos extremos del vaso (llamada con frecuencia “gradiente de presión”), que es la fuerza por unidad de área que se ejerce sobre el vaso, y 2) La resistencia al flujo de la sangre a través del vaso, que se llama resistencia vascular. La figura 4.1 muestra estas relaciones, en un segmento del vaso sanguíneo localizado en cualquier lugar del sistema circulatorio.

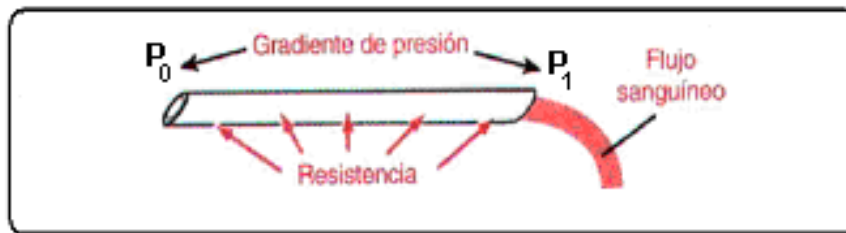


Figura 4.1 Relaciones de la presión, la resistencia y el flujo sanguíneo

$P_0$  representa la presión en el origen del vaso; en el otro extremo, la presión es  $P_1$ . La resistencia al flujo ( $R$ ) es el resultado de la fricción a lo largo de todo el interior del vaso. El flujo a través del vaso puede calcularse mediante la relación de la siguiente fórmula de la ley de Ohm:

$$Q = \frac{(P_0 - P_1)}{R} = \frac{\Delta P}{R}$$

En la que  $Q$  es el caudal,  $\Delta P$  es la diferencia de presión ( $P_0 - P_1$ ) entre los dos extremos del vaso,  $R$  es la resistencia vascular. Esta formula establece, en efecto, que el caudal es directamente proporcional a la diferencia de presión, pero inversamente proporcional a la resistencia. Por consiguiente, el caudal (flujo sanguíneo) aumentara si la presión aumenta o si disminuya la resistencia vascular. De modo parecido, si la presión disminuye o la resistencia vascular aumenta, el flujo sanguíneo disminuirá. Esta relación puede aplicarse a la

circulación sistémica o bien a la circulación pulmonar como unidades individuales.

En la tabla 4.1 se muestran los flujos y la resistencia de algunos órganos y sistemas para un gasto cardiaco de 5 L/min. y una Pamed (presión arterial media) de 100 mmHg.

| Tabla 4.1 Flujos y resistencias en los distintos órganos y sistemas. Gasto cardiaco: 5 L/min; Pamed: 100 mm Hg |      |       |     |
|--|------|-------|-----|
| Sistema  | % GC | L/min | PRU |
| encefálico   | 15   | 0,75  | 8   |
| coronario  | 5    | 0,25  | 6,7 |
| muscular   | 15   | 0,75  | 8   |
| esplácnico   | 30   | 1,5   | 4   |
| renal  | 20   | 1,00  | 6   |
| cutáneo  | 10   | 0,50  | 12  |
| otros  | 5    | 0,25  | -   |

El volumen de sangre por unidad de tiempo que llega a la aurícula derecha se llama “retorno venoso”.

Veamos un ejemplo; la diferencia de presión entre los capilares y la aurícula derecha. La presión en el extremo venoso capilar (Pvc), es de unos 15 mmHg, mientras que la presión en la aurícula derecha (PAd), es de unos 5 mmHg (6.8 cm de H<sub>2</sub>O), el gasto cardiaco o caudal en los capilares es 83.3 mL/s. El cálculo de la resistencia de este segmento del sistema circulatorio es:

$$R_{venosa} = \frac{P_{Vc} - P_{Ad}}{Caudal} = \frac{15mmHg - 5mmHg}{83.3 \frac{mL}{s}} = 0.12PRU$$

Para la circulación sistémica en su conjunto, la fuerza dinámica del flujo sanguíneo es la diferencia entre la presión arterial y la presión en la aurícula derecha (presión venosa central), dado que la sangre se bombea de forma intermitente, la presión en el sistema arterial varía a lo largo del ciclo cardiaco. Además la velocidad de flujo sanguíneo varía inversamente proporcional con el área de la sección, de modo que la velocidad del flujo sanguíneo en la aorta y en las arterias mayores es mucho mayor que en los capilares o en las venas, que poseen una mayor área de sección. Ver la siguiente Figura 4.2.

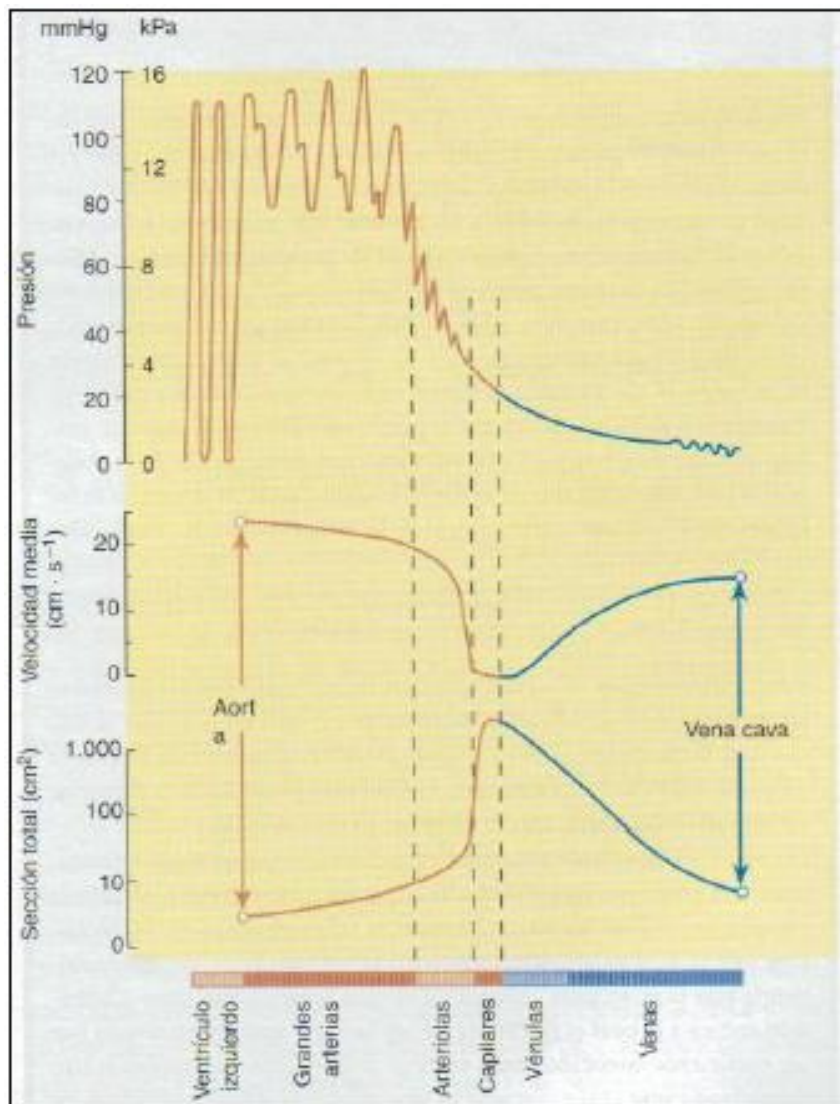


Figura 4.2 Cambios de la presión arterial y de la velocidad de flujo sanguínea en diversas partes del circuito sistémico. Se observa que la mayor disminución de presión se produce a medida que la sangre atraviesa las arteriolas, que son las estructuras en las que hay una resistencia vascular mayor.

Sabemos en física, que los líquidos en reposo se transmiten íntegramente y en todas direcciones las presiones que se les aplican, lo que no sucede así cuando éstos se hallan en movimiento a través de un tubo. Este último es el caso cuando consideramos el sistema circulatorio; donde el fluido es la sangre y las arterias y venas los tubos del circuito. Si el líquido fluye por un tubo recto en forma rítmica, el flujo es laminar, es decir que puede imaginarse como un conjunto de láminas concéntricas que se deslizan una sobre otra, la capa central será la de mayor velocidad mientras que la que está tocando al tubo tendrá la mínima velocidad. Si consideramos las velocidades de las diferentes capas de líquidos en un tubo tendremos que el fluido que está en contacto con la pared del tubo que lo contiene prácticamente no se mueve, las moléculas del fluido que se mueven a mayor velocidad son las que se encuentran en el centro del tubo.

La energía necesaria para que el líquido viaje por el tubo debe vencer la fricción interna de una capa sobre otra. Si el líquido tiene una viscosidad  $\eta$  el flujo sigue siendo laminar, siempre y cuando el valor de la velocidad del fluido  $V$  por el diámetro del tubo  $d$  dividido entre el valor de la viscosidad  $\eta$ , no exceda de un valor crítico conocido como número de Reynold  $\left( Re = \frac{V \cdot d}{\eta} \right)$ , si

$Re$  es mayor que 2000, el flujo deja de ser laminar y se convierte en turbulenta, es decir, forma remolinos, chorros y/o vórtices.

La energía requerida para mantener una corriente turbulenta es mucho mayor que la necesaria para mantener un flujo laminar. La presión lateral ejercida sobre el tubo aumenta. Aparecen vibraciones que pueden ser detectadas como sonido. En la circulación humana normal el flujo es laminar, rara vez es turbulenta, con excepción de la aorta y bajo condiciones de ejercicio intenso.

Los glóbulos rojos de la sangre en una arteria no están uniformemente distribuidos, hay más en el centro que en los lados, lo cual produce dos efectos: uno, cuando la sangre entra a un conducto pequeño a un lado del conducto principal, el porcentaje de glóbulos rojos que pasan será ligeramente menor que en la sangre que se encuentra en el conducto principal; el segundo efecto es más importante, debido a que el plasma sanguíneo se mueve con menor



velocidad a lo largo de las paredes de los vasos que los glóbulos rojos, la sangre en las extremidades del cuerpo tiene un porcentaje mayor de glóbulos rojos que cuando deja el corazón, el cual es aproximadamente del orden de un 10%.

En el estudio del movimiento de los líquidos, el gasto o caudal es una cantidad importante. El caudal  $Q$  es el volumen de líquido  $v$  que fluye por el conducto

estudiado dividido entre el tiempo  $t$  que tarda en fluir:  $Q = \frac{v}{t}$ . Para un tubo

rígido dado, de radio  $r$  y longitud  $l$ , el volumen del líquido de viscosidad  $\eta$  está relacionado con el gradiente de presión de un extremo a otro del tubo ( $P_0 - P_1$ ). El matemático francés Poiseville encontró que el gasto está relacionado con estos parámetros así:

$$Q = (P_0 - P_1) \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

Como la resistencia  $R$  al paso del líquido es el gradiente de presión entre el gasto, la ecuación puede expresarse como:

$$R = \frac{(P_0 - P_1)}{Q} = \frac{8 \cdot \eta \cdot l}{\pi \cdot r^4}$$

Donde  $P_0 - P_1$  está en  $N/m^2$ ,  $\eta$  en  $N.s/m^2$  y  $r$  están en m.

Esta ecuación nos dice que si duplicamos el radio del tubo dejando iguales los otros parámetros, el gasto aumenta 16 veces; esto es muy importante aun cuando es sólo una aproximación en el caso del flujo sanguíneo, ya que la ecuación es válida para el caso de tubos rígidos y las arterias tienen paredes elásticas las cuales se expanden ligeramente con cada pulso cardíaco, además, la viscosidad de la sangre cambia ligeramente con la velocidad del flujo.

Se observa en esta ecuación que el caudal (flujo sanguíneo) es directamente proporcional a la cuarta potencia del radio del vaso, lo que demuestra de nuevo que el diámetro de un vaso sanguíneo (que es igual a dos veces el radio) desempeña un papel importante de todos los factores que determinan el caudal a través de un vaso.

## **CAPITULO V**

### **COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA VASCULAR AL PASO DEL FLUJO SANGUINEO**

Cuando los tejidos están activos, necesitan mucho más flujo sanguíneo que cuando están en reposo. Sin embargo, el corazón normalmente no puede aumentar su gasto cardíaco más de cuatro a siete veces. En su lugar, los microvasos de cada tejido controlan de forma continua las necesidades tisulares; actuando directamente sobre los vasos sanguíneos locales, dilatándolos o conстриéndolos, controlando de forma precisa el flujo sanguíneo local al nivel requerido para la actividad tisular.

Cuando la sangre fluye a través de un tejido, ésta vuelve inmediatamente por las venas al corazón. El corazón responde a este aumento del flujo de entrada bombeándolo de nuevo de vuelta a las arterias de donde procede. En ese sentido el corazón actúa como autómatas, respondiendo a las demandas de los tejidos. Sin embargo el corazón no es perfecto en su respuesta. Por tanto, a menudo necesita ayuda en forma de señales nerviosas especiales que hagan bombear las cantidades necesarias de flujo sanguíneo.

El sistema circulatorio tiene un amplio sistema para el control de la presión arterial. Por ejemplo, si en cualquier momento la presión se reduce de forma significativa por debajo de su valor medio normal, de aproximadamente 100mmHg, un aluvión de reflejos nerviosos provocara en segundos una serie de cambios circulatorios para elevar la presión a la normalidad. Pequeños cambios en el diámetro de un vaso producen cambios enormes en su capacidad de conducir sangre cuando el flujo sanguíneo es laminar.

La determinación de las presiones en los diferentes tipos de vasos sanguíneas pone de manifiesto que la mayor disminución de la presión en el circuito sistémico se produce a medida que la sangre atraviesa las arteriolas. Puesto que en estado de equilibrio el flujo es el mismo a lo largo de todo el lecho vascular determinado, la mayor disminución de la presión se produce en la región de mayor resistencia. Por consiguiente, las determinaciones de la

presión ponen de manifiesto que las arteriolas son el lugar donde la resistencia vascular es mayor.

La mayor parte de las arteriolas se encuentran en estado de constricción tónica (tono y/o tensión) debido a la actividad de los nervios simpáticos que las inervan. Como consecuencia, su área transversal eficaz es mucho menor que su área transversal total. Puesto que la capacidad de un vaso para transportar sangre depende de la cuarta potencia de su radio (Ley de Poiseuille), pueden lograrse importantes cambios del flujo sanguíneo en una región determinada con una pequeña variación del diámetro de las arteriolas. Esta adaptación es importante en la regulación de la distribución del gasto cardíaco entre los diferentes lechos vasculares.

En el ser humano la resistencia en el circuito sistémico (es decir la, resistencia periférica total) es de alrededor de  $2,6 \text{ KPa}\cdot\text{ml}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $0,02 \text{ mmHg}\cdot\text{ml}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). La resistencia total en el circuito pulmonar es mucho menor, cerca a  $0,4 \text{ KPa}\cdot\text{ml}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $0,003 \text{ mmHg}\cdot\text{ml}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Por esta razón se requiere una menor presión para que la sangre fluya a través de los pulmones.

La distensibilidad vascular es la elasticidad arterial que permite el paso de la sangre cuando aumenta la presión arterial.

La **distensibilidad vascular** tiene también otros efectos importantes en la función circulatoria. Por ejemplo, la naturaleza distensible de las arterias les permite acomodarse al gasto cardíaco pulsátil y promediar los picos de presión. Ello hace que el flujo de sangre sea casi totalmente uniforme y continuo a través de los vasos muy pequeños de los tejidos.

Los vasos más distensibles son, con diferencia las venas. Incluso los pequeños incrementos de la presión hacen que las venas almacenen de 0.5 a 1.0 L de sangre adicional.

Según la Ley de Poiseuille, sería previsible que, puesto que los capilares tienen el diámetro más pequeño, fuese allí donde hubiera mayor resistencia vascular. No obstante, la resistencia total al flujo sanguíneo depende tanto del diámetro de los vasos como de la sección total disponible para el paso de la sangre. El área transversal de los capilares es unas 25 veces superior a la de las arteriolas. Puesto que los capilares carecen de músculo liso, no pueden

contraerse. Como consecuencia, ofrecen una resistencia menor al flujo de sangre. El flujo sanguíneo en los capilares es constante, no pulsátil (las fluctuaciones del flujo sanguíneo capilar son consecuencia de los cambios de diámetro de las arteriolas). La presión en el extremo de las arteriolas es de unos 4,3 KPa (32 mmHg) y disminuye hasta 1,5-2,7 KPa (12-20 mmHg) en el momento en que la sangre alcanza el extremo venoso de los capilares. La baja presión en el extremo venoso de los capilares es suficiente para impulsar sangre de regreso al corazón, porque las venas apenas ofrecen resistencia al flujo de sangre, a menos que estén obstruidas.

Las paredes de las venas son relativamente finas y poseen muy poco tejido elástico, de modo que la sangre que regresa al corazón puede acumularse en las venas simplemente distendiéndolas. El grado de estancamiento venoso esta regulado por el tono del músculo liso (conocido como tono venomotor), que, a su vez, esta determinado por la actividad de los nervios simpáticos que inervan las venas. Durante los periodos de actividad en los que el gasto cardiaco es alto, el tono vasomotor esta aumentando y el diámetro de las venas disminuye en la misma medida. En consecuencia, la sangre almacenada en las grandes venas se moviliza y se distribuye a los tejidos activos, y la velocidad a la que la sangre regresa al corazón aumenta.

El músculo liso de todos los vasos se manifiesta ejerciendo tensión, de reposo, conocida como "tono". Los cambios de **tono** vascular alteran el diámetro de los vasos sanguíneos y, en consecuencia, la resistencia vascular. Si aumenta el tono (es decir, si el músculo liso se contrae), se produce una "vasoconstricción" y aumenta la resistencia vascular. Si disminuye el tono, se produce una "vasodilatación" y una disminución de la resistencia vascular. El tono basal o de reposo varía en los distintos lechos vasculares. En las áreas donde es importante poder aumentar sustancialmente el flujo sanguíneo, como el músculo esquelético, el tono basal es alto, mientras que en las grandes venas el tono basal es mucho menor.

El tono de un vaso sanguíneo esta controlado por diversos factores, que se dividen en dos amplias categorías: mecanismos intrínsecos y mecanismos extrínsecos.

-El control intrínseco (o local) de los vasos sanguíneos es ocasionado por la respuesta del músculo liso al estiramiento, la temperatura y los factores químicos liberados localmente.

-El control extrínseco es ejercido por el sistema nervioso autónomo y por las hormonas circulantes.

Las principales arterias (excepto la aorta) y venas se encuentran principalmente bajo control extrínseco, mientras que las arteriolas y venas de pequeño diámetro están sometidas a ambos mecanismos. Puesto que los capilares y las venulas poscapilares carecen de músculo liso, su diámetro no se puede regular.

La actividad del corazón y el tono de los vasos sanguíneos están regulados por el sistema nervioso autónomo.

En los capilares se produce el intercambio de nutrientes y residuos celulares entre los tejidos y la sangre circulante. Las arteriolas son muy musculares y los diámetros pueden cambiar varias veces. Las venulas son considerablemente mayores que las arteriolas y tienen una capa muscular mucho más débil. Sin embargo., debe recordarse que la presión en las venulas es mucho menor que en las arteriolas, de manera que a pesar de su debilidad de su músculo, las venulas tienen una notable capacidad de contracción.

Anatómicamente las paredes de las arterias son mucho más fuertes que las de las venas.

En la circulación pulmonar, las venas pulmonares son similares a la de la circulación sistémica. Sin embargo, las arterias pulmonares normalmente operan bajo presiones una sexta parte menores que las del sistema arterial sistémico, por lo que su distensibilidad es mayor, unas 6 veces superior al de las arterias sistémicas.

Las presiones sistólica y diastólica normales aproximadas, varían en función a la edad, ver Figura 5.1. El aumento progresivo de la presión que se produce con la edad es el resultado del envejecimiento en los mecanismos de control de la presión sanguínea.

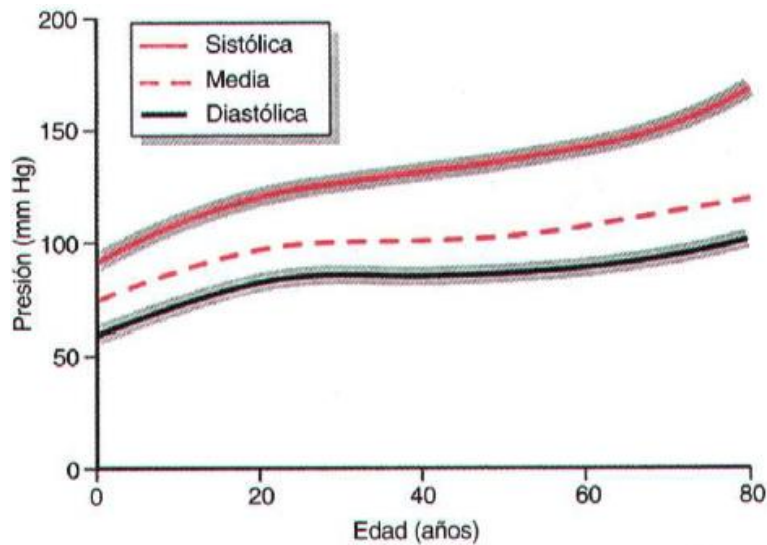


Figura 5.1 Cambios de las presiones sistólica, diastólica y media con la edad. Las áreas sombreadas muestran los límites normales aproximados

El ligero aumento adicional de la presión sistólica que se produce por encima de los 60 años es el resultado del endurecimiento de las arterias, que en sí mismo es un estadio final de la arterosclerosis.

Se han considerado a las venas durante años como conductos para el flujo de sangre hacia el corazón, pero se observa que realizan muchas funciones especiales y necesarias para el funcionamiento de la circulación. Es especialmente importante que sean capaces de contraerse y aumentarse de tamaño y, por tanto, de almacenar cantidades pequeñas o grandes de sangre y disponer de esta sangre cuando sea necesaria en el resto de la circulación.

El **factor hidrostático** también afecta a las presiones de las arterias periféricas y de los capilares, además de ejercer efectos en las venas.

Por ejemplo, una persona de pie que tiene una presión arterial de 100 mm Hg al nivel del corazón tiene una presión arterial en los pies de aproximadamente de 190 mm Hg. Por tanto, cuando uno dice que la presión arterial es de 100 mm Hg, generalmente implica que esta es la presión solo a nivel hidrostático del corazón, pero no necesariamente en cualquier otro segmento del árbol arterial.

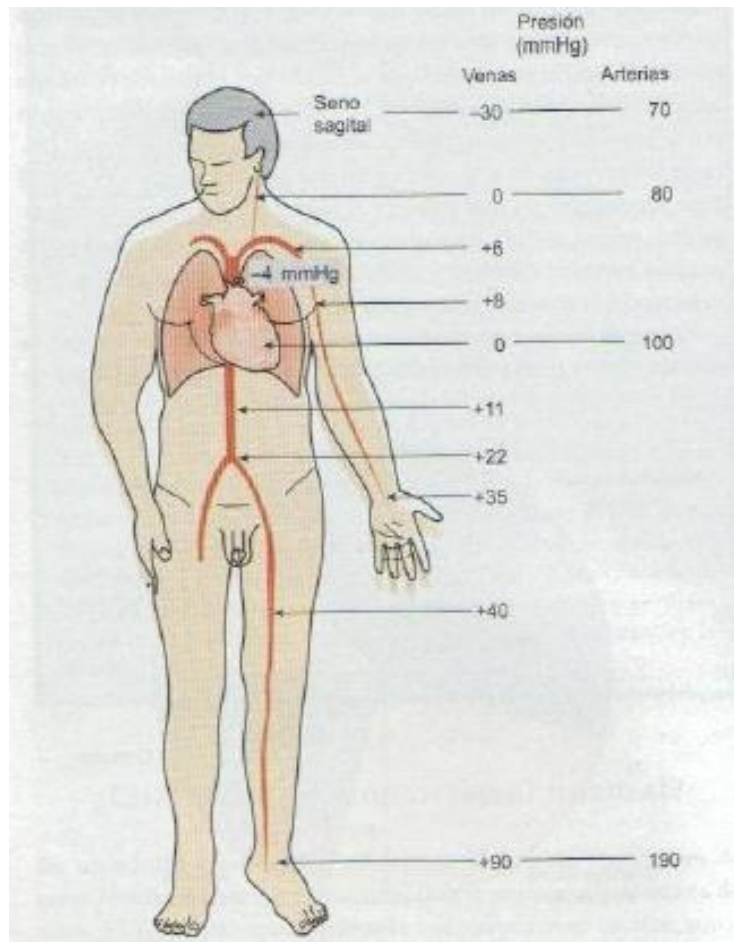


Figura 5.2 Efectos de la presión hidrostática sobre las presiones venosas y arteriales en un hombre en bipedestación y en reposo. Las cifras son aproximadas y dependen de la estatura del individuo

Cada vez que una persona mueve las piernas o incluso tensa los músculos de las piernas, impulsa una cierta cantidad de sangre hacia el corazón y la presión en las venas desciende. Este sistema de bombeo se conoce como “bomba venosa” o “bomba muscular”.

Si una persona permanece de pie completamente inmóvil, la bomba venosa no trabaja y las presiones venosas en la parte inferior de las piernas aumentan hasta un valor hidrostático pleno de 90 mm Hg en 30 segundos. Las presiones en los capilares aumentan mucho. El estar de pie una persona por largos periodos de tiempo produce un aumento de presión, este aumento, genera el estiramiento de las venas incrementando su área transversal, pero las valvas (válvulas) de los conductos, no aumentan de tamaño, por lo que no se cierran por completo.

## **CAPITULO VI**

### **LA SANGRE Y EFECTOS EN LA CIRCULACION SISTEMICA**

La sangre tiene una densidad de  $1.05 \text{ g/cm}^3$ , muy cercano a la del agua que es de  $1.00 \text{ g/cm}^3$ , por lo que podemos hablar de un sistema circulatorio como un sistema hidráulico donde las venas y las arterias son similares a las tuberías.

La sangre es un tejido líquido que recorre el organismo transportando células, y todos los elementos necesarios para realizar sus funciones vitales (respirar, formar sustancias, defenderse de agresiones) y todo un conjunto de funciones muy complejas y muy importantes para la vida. El volumen de sangre de una persona está en relación con su edad, peso, sexo y altura, una persona adulta se puede considerar que tiene entre 5 y 7 Litros de sangre.

La sangre esta constituida por un líquido llamado plasma en el que se encuentran en suspensión los llamados elementos formes: hematíes, eritrocitos o glóbulos rojos; leucocitos o glóbulos blancos, y plaquetas o trombocitos.

Los hematíes (también llamándooos eritrocitos o glóbulos rojos) son el tipo de célula mas numerosa de la sangre; cada litro de sangre contiene (  $4,5-6,5$  ) $10^{12}$  hematíes. Su principal función es transportar los gases respiratorios, el oxígeno y el dióxido de carbono, por todo el organismo. Los hematíes son discos bicóncavos, circulares pequeños (de  $7-8 \mu\text{m}$  de diámetro) que no poseen núcleo. Son muy finos y flexibles y pueden deformarse para circular a través de los capilares, que poseen diámetros internos de  $5-8 \mu\text{m}$ .

El plasma en los adultos normales se calcula alrededor de 4 % del peso corporal en ambos sexos. Un 95 % es agua, y el 5 % restante lo forman diversas sustancias en solución y suspensión.

La tasa de hematocrito describe la proporción del volumen sanguíneo total que ocupan los hematíes. Para cualquier muestra de sangre, el hematocrito puede obtenerse centrifugando un pequeño volumen de sangre en un tubo capilar hasta que los componentes celulares aparecen concentrados en la parte inferior. Como se puede observar en la Figura 6.1.



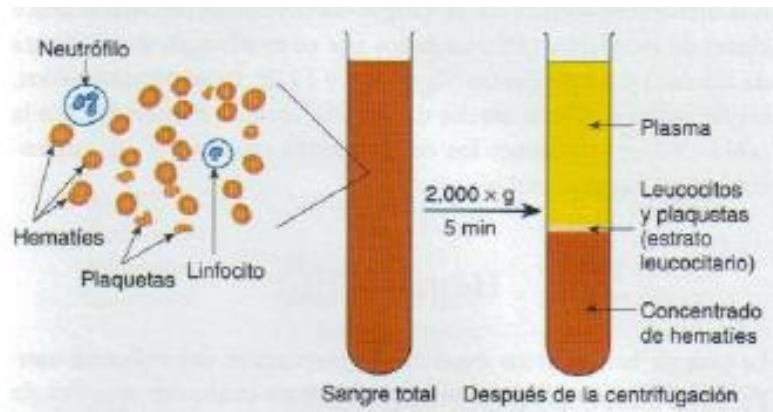


Figura 6.1 Separación de las células y el plasma de la sangre por centrifugación. A la izquierda se observa el aspecto de la sangre normal, con hematíes, leucocitos y plaquetas

Por esta razón, el hematocrito también se conoce como volumen de células concentradas. Determinando la altura de la columna de sangre y aplicando un factor de corrección que tiene en cuenta el plasma atrapado entre los hematíes concentrados, es posible determinar el volumen ocupado por los hematíes en comparación con el volumen sanguíneo total. En hombres adultos, el valor medio del hematocrito determinado de esta forma a partir de una muestra de sangre venosa es de aproximadamente de  $0,47 \text{ L.L}^{-1}$  (fluctúa entre  $0,4 - 0,54 \text{ L.L}^{-1}$ ), mientras que en las mujeres esta más próximo a  $0,42 \text{ L.L}^{-1}$  (límites normales  $0,37- 0,47 \text{ L.L}^{-1}$ ). Sin embargo el hematocrito no es uniforme en todo el organismo. En los capilares, arteriolas y otros vasos de pequeño diámetro, el hematocrito es menor que en las arterias y venas de mayor diámetro como consecuencia de la circulación axial de los hematíes en los vasos. Se ha observado que los hematíes tienen tendencia a fluir por el centro de los vasos, alejados de las paredes. En vasos de gran diámetro, la proporción entre la superficie de la pared y el volumen es menor que en los vasos de menor calibre y, por consiguiente, los primeros contienen un número relativamente mayor de células. En consecuencia tendrá un mayor número de hematocritos.

Además del diámetro de los vasos sanguíneos más pequeños, la resistencia al flujo esta afectada por la viscosidad de la sangre. Aproximadamente la viscosidad de la sangre normal es tres veces mayor que la del agua. Sin embargo, en los tejidos vivos, la viscosidad aparente de la sangre es aproximadamente la mitad de este valor. El elevado numero de hematíes

suspendidos en la sangre, cada una de los cuales esta en continua fricción con las células adyacentes y con la pared del vaso sanguíneo, es responsable de la viscosidad de la sangre. Este comportamiento anómalo de la sangre se debe a la tendencia de los hematíes a fluir a lo largo del eje central de los vasos sanguíneos de menor calibre, un fenómeno conocido como eje axial. A pesar que no se conoce por completo los mecanismos responsables del eje axial, al parecer, la flexibilidad de lo hematíes es un factor importante. A bajas velocidades que se dan en la microcirculación, las partículas rígidas tienen tendencia a permanecer distribuidas uniformemente a lo largo del vaso, mientras que las partículas flexibles migran hacia el eje central.

Dado que la sangre esta constituida por plasma y elementos formes no es sorprendente observar que la viscosidad varía con el hematrocito. Cuanto mayor es el hematocrito, mayor es la viscosidad.

El porcentaje de la sangre que corresponde a las células se llama hematocrito. De este modo, si una persona tiene un hematrocito de 40, el 40 % del volumen sanguíneo son células y el resto plasma. El hematocrito medio de los varones es de 42, mientras que el de las mujeres es de aproximadamente de 38. Estos valores varían enormemente, dependiendo que si la persona tiene o no policitemia, anemia, el grado de actividad corporal y la altitud a la que reside. Estos cambios de hematocrito se comentan en relación a los hematíes.

En la Figura 6.2 se aprecia el efecto del hematrocito sobre la viscosidad de la sangre en comparación sobre la del agua. Se puede observar también en la Figura 6.2 que la viscosidad aumenta súbitamente cuando el hematocrito aumenta por encima del 60 %.

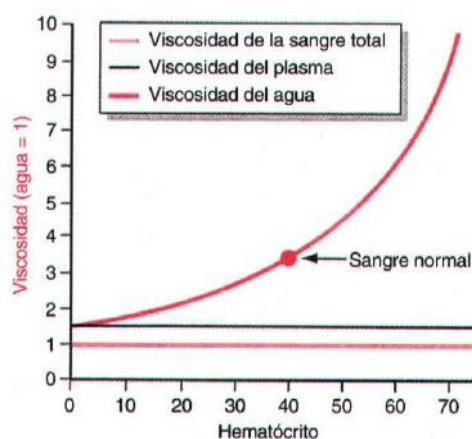


Figura 6.2 Efecto del hematocrito sobre la viscosidad de la sangre (viscosidad del agua = 1)

## **CAPITULO VII**

### **LA CIRCULACION Y SALUD**

El cuerpo humano es muy complejo, tiene un funcionamiento y mecanismo perfecto, por lo que se podría decir que trabaja como una maquina perfecta. En ella encontramos, al aparato circulatorio (sistema circulatorio), el cual cumple un papel importante, de nutrir (alimentar) y limpiar nuestro organismo, esta tendría una extensión aproximada de 125,000 Km. de longitud. Pero en el cuerpo humano se producen anomalías o alteraciones que impiden su buen funcionamiento. Esto se debe a que una persona se encuentra mal de salud (enfermo), o es una reacción natural debido al deterioro del organismo humano producto de una edad avanzada.

El ser humano esta expuesto a múltiples actividades y sensaciones, como trabajos manuales, intelectuales, enfermedades, susto, etc. Por ejemplo; Cuando una persona estudia existe una mayor concentración, por lo tanto habrá mas irrigación sanguínea en el cerebro, por tanto el flujo sanguíneo se altera. Entonces podríamos decir que toda actividad humana nos produce una alteración en el sistema circulatorio. En la presente monografía no se habla, de mínimos, ni máximos de flujos sanguíneos, solo se hace notar promedios normales en adultos sanos, esto nos da entender que existen límites que el organismo humano podría soportar, y no conducir a una funcionalidad anómala.

Se han hecho investigaciones, que tanto el ejercicio, el no abuso de alimentos con grasas, la música, etc., ayudan a mantener un cuerpo saludable. De esos cuidados depende la buena salud.

#### **Alteraciones y Anomalías en el sistema circulatorio**

En el organismo humano, el sistema circulatorio puede presentar alteraciones o anomalías, que nos indiquen el mal funcionamiento de nuestro organismo (sistema circulatorio), a esta lo llamamos enfermedades donde algunas pueden ser pasajeras y otras perennes.

Cabe citar algunos casos:

Si se detecta un aumento de hematocrito, más del promedio normal, estaríamos frente a una policitemia, pero también puede detectarse un aumento de hematocrito cuando nos encontramos a altitudes elevadas. Este aumento de hematocritos trae consigo un aumento de la viscosidad en la circulación, aumentando así la resistencia al paso del flujo sanguíneo.

Con el aumento de la viscosidad, también aumentara el trabajo para bombear la sangre, el cual dará lugar a un aumento persistente de la presión arterial (hipertensión). Una disminución del número de hematocritos puede dar como consecuencia una anemia o una hemorragia, por consiguiente, una disminución de la viscosidad.

Las enfermedades del corazón son una de las mayores causas de mortandad en el mundo. Muchas de ellas incrementan la carga de trabajo del corazón o reducen su habilidad para trabajar a la velocidad normal.

El trabajo hecho por el corazón es aproximadamente la presión promedio por el volumen de sangre bombeado. Aquello que incrementa la presión o el volumen de sangre bombeado incrementará el trabajo hecho por el corazón; por ejemplo, una alta presión sanguínea (hipertensión) causa que la tensión muscular se incremente en proporción a la presión, o bien una rápida actuación del corazón (taquicardia) también incrementa la carga de trabajo.

Un ataque cardíaco se produce por el bloqueo de una o más arterias al músculo cardíaco causando que una porción del corazón quede sin irrigación y muera (infarto).

Otro problema frecuente es el mal funcionamiento de las válvulas cardíacas. Hay dos tipos de defectos: cuando la válvula no abre lo suficiente (estenosis) o cuando no cierra bien (insuficiencia). En el caso de la estenosis el trabajo se incrementa ya que gran parte de él se hace contra la obstrucción de la abertura estrecha y se reduce el suministro de sangre a la circulación general; en el caso de insuficiencia, parte de la sangre bombeada fluye hacia atrás reduciendo la sangre en la circulación. Estos problemas son ahora corregidos por medio de válvulas artificiales o bien reemplazándolas por válvulas humanas (de otras personas) que previamente han sido esterilizadas por radiación.

Otro tipo de enfermedades del sistema cardiovascular tiene que ver con los vasos sanguíneos; quizá el más problemático es la formación de un aneurisma, sobre todo si éste se presenta en el cerebro. Un aneurisma es un pequeño globo que se forma al incrementarse el diámetro de una arteria en alguna sección, como resultado de un debilitamiento de las paredes de la arteria. El incremento en el diámetro aumenta la tensión en la pared. El rompimiento del aneurisma frecuentemente es mortal, especialmente si esto ocurre en el cerebro.

Otra enfermedad frecuente son las venas varicosas o várices que no sólo constituyen un problema de estética, sino que pueden causar complicaciones serias. Se deben a que las válvulas venosas, que deberían permitir el flujo de sangre sólo en un sentido (hacia el corazón), no funcionan bien y dejan que la sangre circule en ambos sentidos. Generalmente se presenta este problema en las venas largas de las piernas y se resuelve quitando estas venas: la sangre regresa al corazón por otras vías.

## CONCLUSIONES

El sistema circulatorio esta compuesto por un sistema de conductos de dimensiones variables por el cual fluye la sangre, estos conductos algunos de ellos son flexibles y unos mas rígidos que otros, por lo cual tiene un funcionamiento un tanto complejo

Las relaciones de presión, flujo sanguíneo y resistencia vascular, frente al líquido circundante en la circulación sistémica presenta límites a su aplicabilidad, donde una de las limitaciones que presentan los modelos físicos (ley de poiseuille), es que solo son aplicables rigurosamente a líquidos ideales, a temperatura constante y en régimen estacionario. Pero para líquidos reales como la sangre, si bien no se puede aplicar estrictamente, nos sirve para orientar la interpretación de algunos fenómenos y, en la mayoría de casos, obtener valores muy aproximados a los reales.

El flujo sanguíneo se ve alterado por la variabilidad de presión, producto de la vasodilatación y/o vasoconstricción, activado por los músculos y también por la posición en que se encuentra la persona.

La alteración de la composición de la sangre, hace también que cambie la viscosidad, produciéndose una variación de la resistencia vascular (en los vasos sanguíneos), alterando así el flujo sanguíneo de flujo sanguíneo y la resistencia vascular.

Se consideran valores promedios de presión, caudal y/o flujo sanguíneo, para una adulto sano. El cual, cualquier alteración de estos valores nos hará conocer, una alteración y/o anomalía que presente, el organismo humano y nos servirá para detectar el mal funcionamiento del cuerpo humano.

Con el conocimiento de la física en la medicina nos hará entender de mejor manera la funcionalidad del cuerpo humano para así interpretar correctamente un análisis de diagnóstico más preciso. Así también hacer un correcto uso de equipamiento medico, donde existan, las unidades físicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ARTHUR C. GUYTON, JOHN E. HALL. Tratado de la Fisiología Medica 10ma Edición. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana 2001
2. GUYTON Fisiologia Humana Editorial: Mc Graw-hill Education 1987
3. GILLIAN POCOCK, CHRISTOPHER D. RICHARDS. Fisiología Humana 2da Edición. Editorial Masson 2005
4. ALEJANDRO STEINER, SAMUEL MIDDLETON. Fisiología Humana 4ta Edición. Editorial Universitaria Chile 1991
5. RICARDO MONTOREANO. Manual de Fisiología y Biofísica para estudiantes de medicina 2da Edición 1994
6. RM BARNES, NM LEVY. Physiology. 4ta Edición. St. Louis, 1998
7. RIVERA, A. FERMIN, MANUEL RICO B. El cuerpo Humano. Editorial Trillas México 1983
8. CROMER. Física para la vida
9. ALONSO FINN. Fisca Mecanica. Adison Wendey. Editorial Pearson
10. SEARS, ZEMANSKY. FISICA UNIVERSITARIA 11ma Edición. Editorial Pearson Educación

## **GLOSARIO DE TERMINOS**

**LIQUIDO TISULAR.-** El líquido intersticial o líquido tisular es el líquido contenido en el intersticio o espacio entre las células. Alrededor de una sexta parte de los tejidos corporales corresponden al intersticio, y en promedio una persona adulta tiene cerca de 11 litros de líquido intersticial proveyendo a las células del cuerpo nutrientes y eliminando sus desechos.

**TABIQUE O VAINA MUSCULAR.-** Pared muscular que divide una cavidad del lado izquierdo del corazón de la del lado derecho.

**AURICULA CARDIACA.-** Cavidad del corazón que recibe el flujo sanguíneo. Lo transmite al ventrículo, que se encarga de bombearlo al sistema circulatorio.

**VENTRICULO derecho e izquierdo.-** Cavidades cardíacas que impulsan la sangre hacia los pulmones y hacia el sistema arterial, respectivamente.

**MIOCARDIO.** -El miocardio (mio: músculo y cardio: corazón), es el tejido muscular del corazón, músculo encargado de bombear la sangre por el sistema circulatorio mediante contracción.

**PERICARDIO.-** El pericardio, contenido en el mediastino medio, es una membrana fibroserosa de dos capas que envuelve y separa al corazón de las estructuras vecinas. Forma una especie de bolsa o saco que cubre completamente al corazón y se prolonga hasta las raíces de los grandes vasos. Tiene dos partes, el pericardio seroso y pericardio fibroso. En conjunto recubren a todo el corazón para que este no tenga alguna lesión.

**DIAFRAGMA.-** El diafragma es un músculo que separa la cavidad torácica de la abdominal.

**CAPACITANCIA.-** La capacidad o capacitancia es una propiedad de los condensadores. Esta propiedad rige la relación existente entre la diferencia de



potencial (o tensión) existente entre las placas del capacitor y la carga eléctrica almacenada en este

**DISTENSIBILIDAD.-** Capacidad para distenderse. En el caso de las arterias, representa la elasticidad de sus paredes y se mide por la presión pulsátil.

**TEJIDO.-** Conjunto de células del mismo tipo actuando juntas para desempeñar una función. En el organismo encontramos cuatro tipos básicos de tejidos: Epitelial, Conectivo, Muscular y Nervioso.

**AORTA.-** La aorta (NA *arteria aorta*) es la principal arteria del cuerpo humano. Sale directamente de la base del ventrículo izquierdo del corazón y, formando un arco llamado el cayado aórtico, que desciende hacia el abdomen donde, a la altura de la IV vértebra lumbar, se bifurca en tres arterias, las ilíacas primitivas, que irrigan la pelvis y el miembro inferior, y la arteria sacra media, que se dirige a parte del recto. La aorta da origen a todas las arterias del sistema circulatorio, excepto a las arterias pulmonares, que salen del ventrículo derecho. La función de la aorta es transportar y distribuir sangre rica en oxígeno a todas esas arterias.

**DIASTOLE.-** (Fisiol.) Movimiento de dilatación del corazón y de las arterias, cuando la sangre penetra en su cavidad.

**SISTOLE.-** Período de contracción cardiaca, en particular de los ventrículos con objeto de enviar sangre a las arterias pulmonares y aorta.

**FRECUENCIA.-** Es una medida que se utiliza generalmente para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en la unidad de tiempo. Para calcular la frecuencia de un evento, se contabilizan un número de ocurrencias de este teniendo en cuenta un intervalo temporal, luego estas repeticiones se dividen por el tiempo transcurrido.

**HORMONA.-** Las hormonas son sustancias segregadas por células especializadas, localizadas en glándulas de secreción interna o glándulas endocrinas (carentes de conductos), o también por células epiteliales e

intersticiales con el fin de afectar la función de otras células. Hay hormonas animales y hormonas vegetales como las auxinas, ácido abscísico, citoquinina, giberelina y el etileno.

**VISCOSIDAD.**- Es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal, en realidad todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones.

**MUSCULO.**- Un músculo es un órgano contráctil que forma parte del cuerpo humano y de otros animales. Está conformado por tejido muscular. Los músculos se relacionan con el esqueleto o bien forman parte de la estructura de diversos órganos y aparatos.

**MUSCULO LISO.**- También conocido como visceral o involuntario, se compone de células en forma de huso que poseen un núcleo central que asemeja la forma de la célula que lo contiene, carecen de estrías transversales aunque muestran ligeramente estrías longitudinales. El estímulo para la contracción de los músculos lisos está mediado por el sistema nervioso vegetativo autónomo. El músculo liso se localiza en los aparatos reproductor y excretor, en los vasos sanguíneos, en la piel, y órganos internos.

**SISTEMA NERVIOSO SIMPATICO.**- El sistema nervioso simpático es parte del sistema nervioso autónomo: Está formado por los tubos latero vertebrales a ambos lados de la columna vertebral. Conecta con los nervios espinales mediante los ramos comunicantes, así, los núcleos vegetativos medulares envían fibras a los ganglios simpáticos y estos envían fibras postganglionares a los nervios espinales. La acción se ejecuta con un brazo aferente y otro eferente, mediante un arco reflejo.

**VASOS SANGUINEOS.**- Tubos que funcionan como un sistema de carreteras y canales para llevar y traer sangre por todas las partes del cuerpo. Las tres clases principales de vasos sanguíneos son las arterias, las venas y los capilares. El corazón bombea sangre por estos vasos para que ésta pueda

acarrear el oxígeno y los elementos nutritivos que necesitan las células y las materias de desecho inservibles para las células.

ELASTICIDAD.- En física e ingeniería, el término elasticidad designa la propiedad mecánica de ciertos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas exteriores se eliminan.

TENSION.- La tensión mecánica es la fuerza interna que actúa por unidad de superficie.