

TEÓRICO-PRÁCTICO 5 y 6

BIOFÍSICA DE LA CIRCULACIÓN DE LA SANGRE: HEMODINAMIA

OBJETIVOS

Asociar los componentes del aparato cardiovascular con la dinámica circulatoria.
Analizar la aplicación de las Leyes Físicas que determinan la circulación sanguínea.

Adquirir herramientas cognitivas de la hemodinamia útiles para el abordaje de situaciones problemáticas en síndromes clínicos.

Reconocer los métodos de determinación del volumen minuto cardíaco.

GENERALIDADES DEL APARATO CARDIOVASCULAR

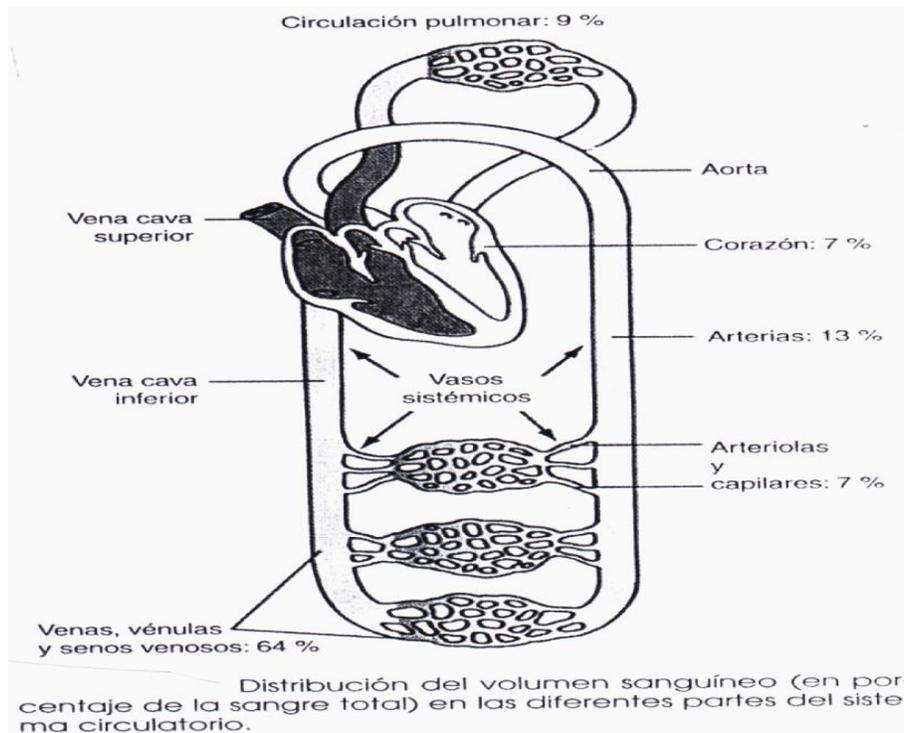
El aparato circulatorio tiene como función transportar nutrientes desde el tubo digestivo hacia el resto de los tejidos, fundamentalmente al hígado y tejido graso y desde estos hacia los tejidos en momentos de ayunas. Además, se encarga del transporte de oxígeno desde el pulmón hacia el resto de células del organismo. Por otro lado, los productos de desecho son transportados hacia el pulmón y el riñón. De la misma manera colabora en la comunicación intercelular, mediante el transporte de mensajeros químicos (hormonas), elementos de vigilancia inmunológica (anticuerpos y glóbulos blancos) y elementos de autodefensa del sistema (plaquetas y factores de coagulación). Además, interviene en el transporte rápido de calor, al desplazar masas de sangre caliente hacia zonas más frías, posibilitando una rápida distribución de la temperatura en el organismo.

El aparato circulatorio está constituido por la bomba cardíaca que al crear un gradiente de presión entre el lado arterial y el venoso de la circulación posibilita el movimiento de la sangre por los capilares desde el extremo de mayor presión o arterial al de menor presión o venosa.

El sistema circulatorio está diseñado de forma tal, que toda la sangre contenida en los capilares retorna al corazón derecho a través del sistema venoso; de dicha cavidad circula hacia el pulmón a través de la arteria pulmonar y posteriormente al corazón izquierdo para ser bombeada de nuevo a los capilares a través del sistema arterial.

Este sistema cerrado está formado por el corazón y vasos de diferentes estructuras histológicas y calibre que reflejan las distintas exigencias funcionales

que existen en el organismo. Debido a que las arterias resisten presiones pulsátiles de magnitud importante, sus paredes generalmente son más gruesas que las de las venas homólogas, puesto que deben soportar dichas presiones.



El espesor de la pared arterial disminuye conforme lo hace el calibre del vaso pero el cociente espesor de la pared / diámetro de la luz va aumentando. Las venas tienen un diámetro total mayor, una luz más amplia y una pared más delgada que las arterias correspondientes. Existen tres tipos de arterias según su tamaño y sus caracteres estructurales: arterias gruesas o elásticas, arterias de mediano calibre o musculares y arterias pequeñas de diámetro menor a 2 mm.

Los componentes elásticos de la aorta permiten que se expanda durante la sístole, almacenando de este modo la energía cinética del latido cardíaco, que se transformará en energía potencial durante la diástole, permitiendo que la pared vascular se comporte como un resorte elástico que impulsará la sangre a lo largo del sistema vascular periférico entre las contracciones cardíacas. El término capilar se restringe a vasos que tienen aproximadamente unos 7 a 8 μm , siendo la superficie acumulada de los capilares en todo el cuerpo de unos 700 m^2 . El retorno sanguíneo hacia el corazón desde los lechos capilares discurre inicialmente por las vénulas postcapilares, secuencialmente a través de las vénulas colectoras, venas pequeñas, medianas y grandes. Por otra parte, las válvulas que se encuentran en muchas venas, especialmente en las extremidades, sirven para impedir el flujo retrógrado.

En el análisis de las características físicas acerca del aparato circulatorio, debemos tener en cuenta: el contenido (la sangre) y el continente (vasos sanguíneos).

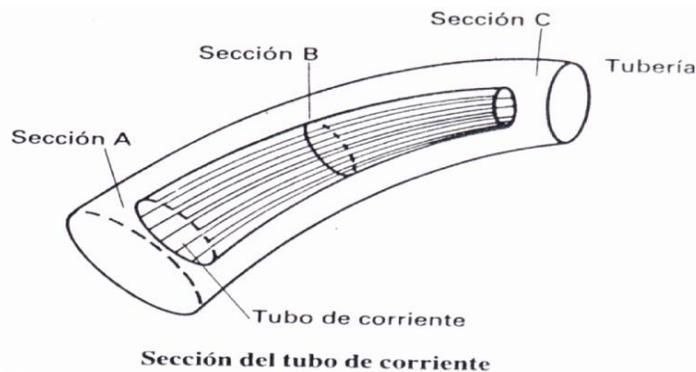
Para comprender la circulación en este sistema vascular cerrado, donde fluye un líquido real es necesario interpretar las relaciones mecánicas entre los gradientes de presión, caudal y resistencia de los diversos tipos de vasos; ya que estos factores determinan el flujo a través de un vaso sanguíneo.

- 1) Teniendo en cuenta el concepto anterior, seleccione la opción correcta:
 - a) la diferencia de presión entre los dos extremos del vaso, que es la fuerza que empuja la sangre durante el recorrido.
 - b) el impedimento al flujo sanguíneo a circular a lo largo del vaso, lo que se denomina resistencia vascular.
 - c) el caudal o flujo sanguíneo constante en todo el sistema.
- 2) Repasar magnitudes y unidades pertinentes a la hidrodinamia que serán aplicadas a la hemodinamia: Caudal – Volumen minuto – resistencia periférica – Diferencia de presión – viscosidad – radio de los vasos.
- 3) Teniendo en cuenta las características biológicas del aparato circulatorio, explique la circulación sanguínea aplicando los conceptos de la hidrostática y la hidrodinámica conocidos.

Leyes generales de la circulación

El flujo sanguíneo es constante en cada una de las secciones transversales del árbol circulatorio, ya que éste es un circuito cerrado, en un adulto normal en reposo es de 5L/min (gasto cardíaco). Esto se explica por la:

Ley del Caudal: el caudal a través de cada segmento de la circulación debe ser igual al entrar y salir del sistema, a pesar de las grandes diferencias de superficie de corte transversal.



4) Represente gráficamente la Ley del caudal.

5) La elasticidad vascular es responsable de:

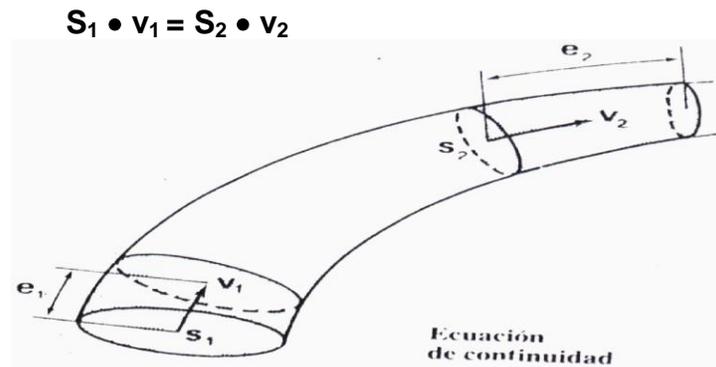
- a) flujo sanguíneo discontinuo
- b) flujo sanguíneo continuo
- c) la presión sistólica
- d) la presión diastólica
- e) b y d son correctas

Ley de la Velocidad: La velocidad es máxima en la raíz de la aorta y disminuye progresivamente desde esta porción hacia los capilares, para ir aumentando nuevamente desde estos hacia las venas, pero nunca vuelve al valor aórtico. La velocidad media de la sangre en la porción proximal de la aorta es del orden de los $40 \text{ cm}\cdot\text{seg}^{-1}$, el flujo es fásico y la velocidad es alrededor de $120 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$, durante la sístole, con un valor negativo en el momento del flujo retrógrado transitorio antes de que la válvula aórtica se cierre en la diástole.

En las porciones distales de la aorta y en las arterias grandes, la velocidad también es mayor en la sístole que en la diástole. No obstante los vasos son elásticos, y el flujo anterógrado es continuo debido a la retracción, durante la diástole, de las paredes vasculares estiradas durante la sístole.

6) Represente gráficamente la Ley de la Velocidad.

Existe una relación entre caudal y velocidad, si imaginamos que el líquido pasa con la misma velocidad por todos los puntos de una determinada sección aquella puede relacionarse con el caudal. Si se tiene en cuenta que una de las características de los líquidos es su incompresibilidad, resulta evidente que los volúmenes barridos en ambos casos han de ser iguales. Es por ello que podemos expresar que el cociente entre el s_1/t es la velocidad v_1 que posee el líquido cuando atraviesa la superficie s_1 , se obtiene la **Ecuación de Continuidad:**



Teniendo en cuenta que **v** es la velocidad, **S** la sección y **e** es el espacio recorrido por el frente líquido en un determinado tiempo.

Las velocidades de las partículas de un líquido en los distintos puntos de una conducción son inversamente proporcionales a las secciones correspondientes:

TIPOS DE VASOS SANGUÍNEOS	SECCION TRANSVERSAL (cm ²)
Aorta	2.5
Arterias pequeñas	20
Arteriolas	40
Capilares	2500
Vénulas	250
Venas pequeñas	80
Venas cavas	8

7) Resuelva el siguiente problema:

Si el radio de la arteria femoral de una persona es de 1,1 cm, y por la misma circulan 4,8 L/min, determine:

- La velocidad en la arteria femoral
- La velocidad en los capilares sabiendo que son unos $6,06 \cdot 10^5$ capilares con un radio de 1 μ .

Ley de la presión: La presión es alta y pulsátil en las arterias y desciende rápidamente a través de los vasos de resistencia, y la pulsación está amortiguada en los capilares y en las venas. La presión es baja y no pulsátil en la mayoría de los capilares y las venas, hasta descender prácticamente a cero a nivel de la aurícula derecha.

8) Represente gráficamente la Ley de la presión.

Aplicación de la Ley de Poiseuille

Como el caudal varía directamente y la resistencia de forma inversa con la cuarta potencia del radio, el flujo sanguíneo y la resistencia *in vivo* varían notablemente por mínimas variaciones en el calibre de los vasos.

$$Q = \Delta P \cdot \frac{\pi \cdot r^4}{l \cdot \eta \cdot 8}$$

Así por ejemplo, el flujo a través de un vaso se duplica por un incremento de solo el 19% en su radio; y cuando el radio se duplica, la resistencia se reduce 6% de su

valor previo. Es por eso que el flujo sanguíneo de los órganos se regula de manera tan eficiente por cambios pequeños en el calibre de las arteriolas, y porqué las variaciones en el diámetro arteriolar tienen efecto tan manifiesto sobre la presión arterial sistémica.

Las variaciones de viscosidad producen modificaciones de la resistencia y por lo tanto del flujo. El efecto de la viscosidad in vivo se desvía del predicho por la ley de Poiseuille. En los vasos grandes el aumento en el hematocrito causa aumentos apreciables en la viscosidad.

Sin embargo, en los vasos menores de 100 μm de diámetro (arteriolas capilares y vénulas), se producen cambios en la viscosidad en función de los valores del hematocrito, siendo menor la viscosidad en estos vasos de menor calibre que en los vasos de calibre grande; esto se debe a una diferencia en las características del flujo a través de los vasos pequeños.

Por ejemplo en la policitemia grave, el incremento de la resistencia por modificación en la viscosidad, aumenta la resistencia periférica; a la inversa en la anemia la resistencia periférica está disminuida, en parte debido a la disminución en la viscosidad.

9) Para comenzar las siguientes experiencias utilizar:

- Recipiente con base abierta y un tubo flexible del doble de la longitud del recipiente.
- Un Abocath nº 18 – 20 – 22.
- Un catéter K33 indicado para cateterismo cardíaco.

I) Colocar el tubo flexible en el extremo del recipiente, llenar el envase con agua y realizar la siguiente secuencia:

- a) Colocar el menisco del tubo a la misma altura que el líquido del recipiente.
- b) Modificar la altura del recipiente
- c) Modificar la altura del menisco del tubo con respecto al recipiente.
- d) Sale agua por el tubo cuando ambos niveles están a la misma altura?
- e) ¿Qué sucede si se prolonga el tubo?
- f) ¿Qué ocurre si el tubo tiene un orificio?
- g) Sponga que coloca solución fisiológica, plasma, glóbulos rojos sedimentados y/o agua: ¿obtendrá los mismos resultados?

II) Repita la misma secuencia anterior y analice las siguientes consignas para I y II:

- Anote cada una de las observaciones, analícelas y relacione la experiencia con el aparato circulatorio. Distinga similitudes y diferencias.
- Analice el papel de la presión en la experiencia.

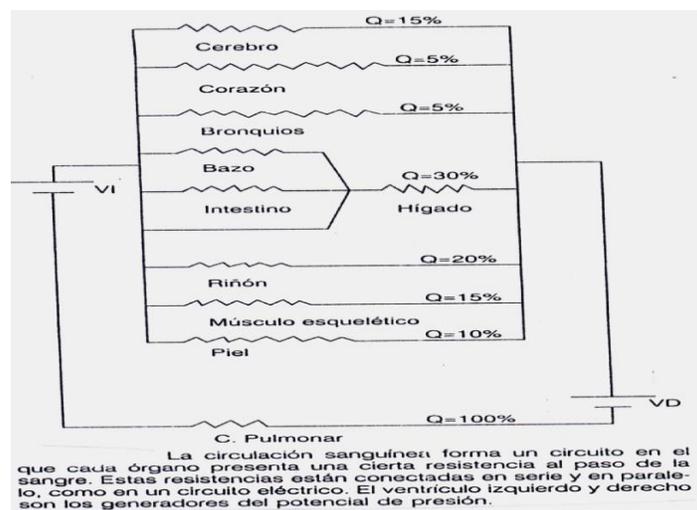
III) Observe el catéter K33, y responda:

- a) Analice las diferentes partes que lo constituyen.
- b) Técnicas de instrumentación.
- c) Indicaciones de un cateterismo cardíaco.
- d) Información obtenida.
- e) Contraindicaciones y riesgos.

10) Determine el caudal máximo de solución fisiológica a pasar por un catéter E.V. Si considera que su longitud es de 32 mm y su diámetro 1,10 mm. Considerando la presión de una atmósfera, la viscosidad de un poise y la resistencia periférica de

La mayoría de los territorios vasculares están conectados en paralelo como las resistencias periféricas totales, como puede observarse en la siguiente figura:

Sólo en la circulación del tubo digestivo y del hígado las resistencias se conectan en serie. Esto permite suplir dichos órganos con un flujo suficiente de sangre y con una presión menor, posibilitando el control de flujo en cada uno de los órganos independientemente.



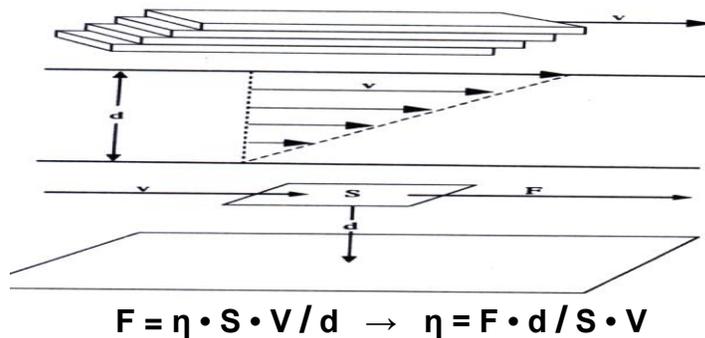
La **impedancia** es un concepto generalizado de la oposición al flujo, no solo tiene en cuenta la fricción sino también la elasticidad y la masa cuando el caudal no es constante sino oscilatorio. La impedancia depende de la frecuencia de oscilación y entonces resulta inaplicable el concepto de resistencia, por lo que debe usarse el término impedancia para la resistencia al flujo pulsátil, limitando el término resistencia para el flujo constante.

13) Calcule la resistencia que ofrece un vaso sabiendo que la diferencia de presión es de 5 mmHg y el caudal circulante es de 5 L/m.

14) Determine la resistencia periférica total de un individuo normal en estado de reposo y luego de una actividad física. ¿Los valores son iguales para cualquier sección transversal de los vasos sanguíneos?

Todos los conceptos explicados anteriormente están referidos a condiciones de flujo normal, es decir cuando el flujo sanguíneo es un **flujo laminar**, éste se caracteriza porque todas las partículas se mueven con mayor velocidad cuanto más alejadas se encuentran de las paredes del conducto, de tal modo que todas las que en un instante dado se encuentran en la misma sección S_1 en otro instante posterior no lo están, debido a que las que se encuentran en el centro de la circulación se desplazan una distancia mayor que las situadas en las proximidades o en contacto con las paredes. Esto se produce porque el líquido se desplaza como si estuviese formado por láminas superpuestas que se deslizan unas sobre otras.

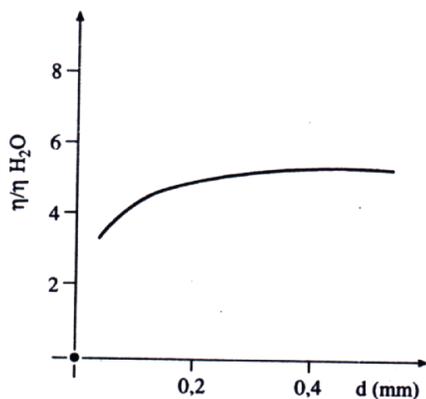
El frotamiento interno entre las láminas que conforman el líquido define la viscosidad, una de las variables determinantes de la resistencia hidrodinámica.



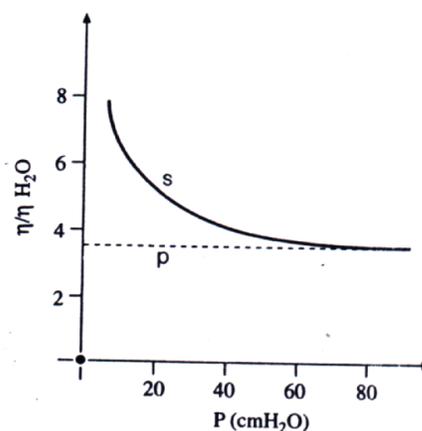
La viscosidad de un líquido se puede definir como la resistencia al movimiento, que sus moléculas oponen respecto a las vecinas del mismo líquido, propio de los líquidos reales.

Es habitual expresar la viscosidad de los líquidos del organismo como relativas al agua. Por ejemplo; plasma: 2,1; orina: 1 – 1.14; líquido cefalorraquídeo: 1,024 y sangre: 4, dependiendo del hematocrito.

15) Analice los siguientes gráficos y explique el comportamiento de la viscosidad teniendo en cuenta el calibre y la presión en los vasos:



I



II

Viscosidad relativa aparente de la sangre en función del diámetro del tubo (I) y de la presión (II).

Es habitual expresar la viscosidad de los líquidos del organismo como relativas al agua. Por ejemplo; plasma: 2,1; orina: 1 – 1.14; líquido cefalorraquídeo: 1,024 y sangre: 4, dependiendo del hematocrito.

Cuando la velocidad media alcanza un nivel crítico, el flujo deja de ser laminar para transformarse en **flujo turbulento**, en donde el líquido no se desliza ya en forma de láminas y sus partículas se mezclan entre sí formando torbellinos.

En la siguiente figura puede observarse como se produce el régimen turbulento originado por irregularidades en los conductos:



La probabilidad de alcanzar dicho nivel crítico viene determinada por el denominado número de Reynolds.

El número de Reynolds es un valor adimensional, para la sangre cuando la densidad es de aproximadamente $1,05 \text{ g.cm}^{-3}$ y la viscosidad entre 0,035 a 0,05 poises, el número de Reynolds no excede la cifra de 2000 en la mayor parte de la circulación en el hombre.

A mayor número de Reynolds, mayor es la probabilidad de que el flujo sea turbulento, el mismo puede darse en casos de aumento de velocidad por estrechamiento del diámetro de la arteria, también al disminuir la viscosidad sanguínea, como sucede en casos de anemia severa, ocasionando ruidos cardíacos debidos al flujo turbulento de la sangre a su paso por el corazón. En condiciones fisiológicas, existe flujo turbulento a la salida del corazón, en la arteria aorta y en la arteria pulmonar, elevándose el número de Reynolds, pudiendo alcanzar valores entre 3.600 y 5.800, y se cree que la turbulencia resultante es responsable de los soplos que se escuchan sobre estos grandes vasos durante la sístole, en este caso dado por el aumento de velocidad y el gran diámetro de los vasos, también ocurre en las áreas de ramificación de los vasos por la posición anatómica, esto corresponde al tipo de turbulencia no ordenada.

La turbulencia ordenada sobreviene cuando se produce remolinos pero a velocidades de flujo mas bajas. Por ejemplo cuando hay un obstáculo, el fluido tiende a seguir la curvatura de éste, contornea e inicia un movimiento de giro que genera un remolino. Como ésta es una zona de baja presión, la corriente tiende a converger en ese punto desde la zona opuesta. El ciclo se repite indefinidamente estableciendo movimientos de giro en sentido opuesto, los cuales a su vez se van trasladando corriente abajo. Este es probablemente el origen de la mayoría de los soplos que se auscultan en el sistema cardiovascular, aún con un número de Reynolds menor de 2000.

19) ¿Existen soplos fisiológicos? ¿Cuáles son?

20) Determine en base a los datos, si el siguiente flujo es laminar o turbulento:

Diámetro del tubo= $4 \cdot 10^{-5} \text{ m}$, viscosidad= 200 mp.s, velocidad= 0,04 m/s, densidad = 2 g/cm^3

Aplicación del Teorema de Bernouille al aparato cardiovascular

El teorema de Bernouille se basa en el principio de conservación de la energía:

$$\mathbf{E_t = E_c + E_p}$$

para explicar la circulación de un líquido a caudal constante. Como el volumen que ingresa tiene una determinada velocidad, el sistema también recibe una cierta cantidad de energía cinética que depende de la velocidad, además el volumen ingresa con una energía potencial que depende de la altura respecto a un plano de referencia.

$$\mathbf{P_{hd} = P_h + P_c}$$

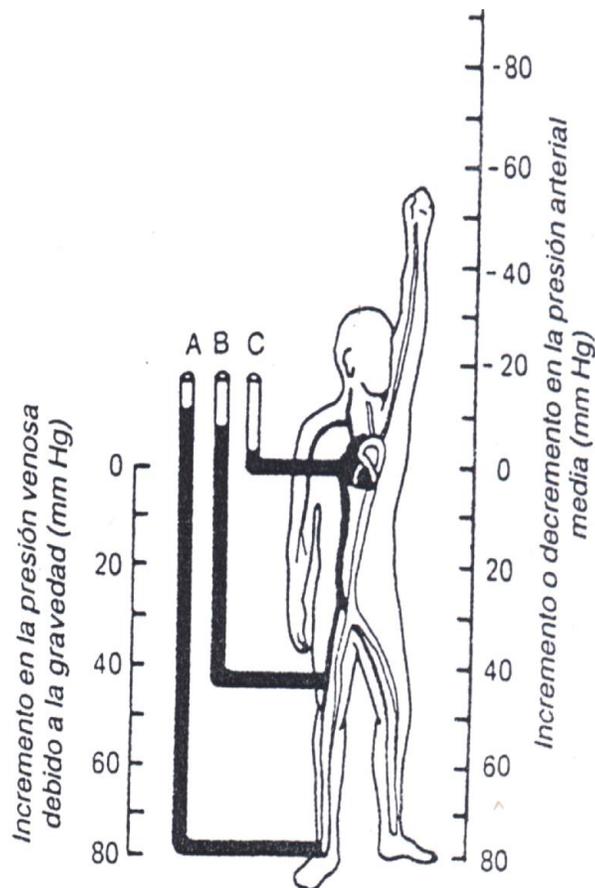
Phd: presión hidrodinámica

Ph: presión hidrostática

Pc: presión cinemática

21) Indique las variables que permiten determinar la presión hidrostática, la presión cinemática y la presión hidrodinámica.

22) Concepto de eje flebotático. En función a su ubicación, responda: ¿Cuáles son las variaciones de la presión hidrostática en un paciente que modifica la posición de su cuerpo?



23) Analice la importancia de la elasticidad de los vasos y relaciónela con el Teorema de Bernouille.

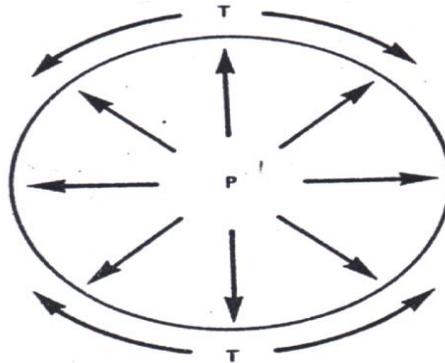
24) Calcule la presión hidrostática de una columna sanguínea cuando su altura es de 0,12 m y la densidad es de $1,056 \text{ g/cm}^3$

25) ¿Cual será la presión cinemática de la sangre si su velocidad es de 0,05 m/s?

26) En base a los resultados de los dos ejercicios anteriores calcule la presión hidrodinámica.

Aplicación de la Ley de Laplace al aparato cardiovascular

La relación entre la presión de distensión y la tensión se muestra a manera de diagrama en la siguiente figura:



$$P = T / r$$

La ley de Laplace establece que la presión de distensión (**P**) en un objeto hueco distensible en equilibrio, es igual a la tensión en la pared (**T**) dividida por el radio principal (**r**) de la curvatura, en este caso de un cilindro que representa al vaso sanguíneo.

27) Interprete a través de la ley de Laplace la importancia de la variación en el radio de los vasos.

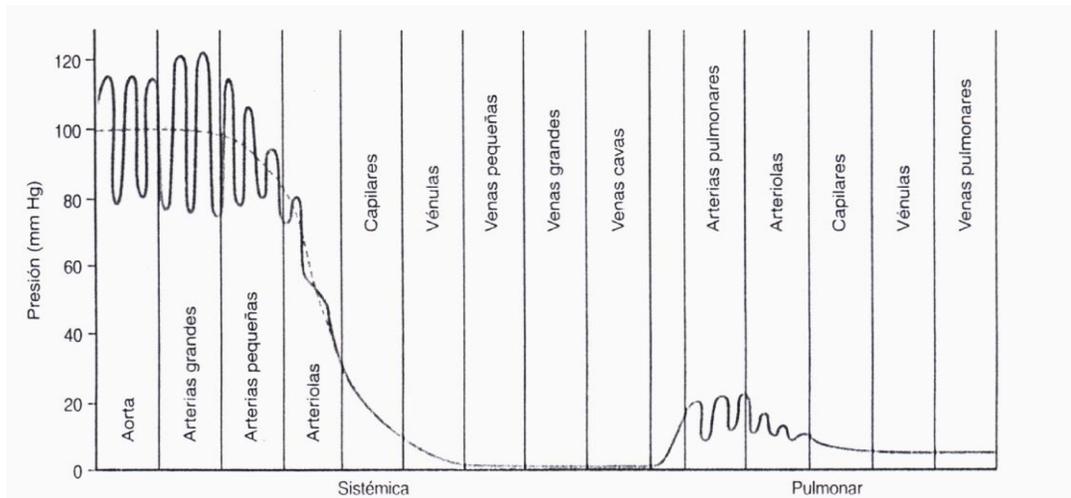
28) Calcule las modificaciones de la presión en un capilar si su radio incrementa a 1.500 μm y su tensión es de 15 $\mu\text{N}/\text{cm}$.

29) ¿Cuál es la tensión de un vaso cuando la presión es de 16,3 $\text{cm H}_2\text{O}$ y el diámetro es de 2 mm ? Además, seleccione qué ley debe aplicar para resolver el ejercicio.

- a) $1,598 \cdot 10^3$ dina/cm. Ley de Laplace.
- b) 1598 Pa. Ley de Presión.
- c) 15,98 Pa. Ley de Laplace.
- d) 1598 dina/cm. Ley de Pascal.
- e) $1,59 \cdot 10^6$ Pa. Ley de Poiseuille.

Presión arterial. Presión venosa.

Analice el siguiente gráfico:



Presiones sanguíneas normales en las diferentes partes del sistema circulatorio (persona en decúbito)

Luego, realice comentarios acerca de las variaciones de las presiones de acuerdo al territorio vascular.

30) Determine la importancia de la presión arterial sistólica, diastólica, media, transmural y crítica de cierre.

31) Controle la presión arterial de un compañero/a en posición: sentado, parado, acostado y luego de realizar una actividad física. ¿Cuáles serían las causas, si existieran variaciones?

32) Recuerde las conclusiones obtenidas al finalizar la primera experiencia y correlaciónelas con las presiones del aparato circulatorio.

33) ¿Qué variaciones se producen en la presión arterial al modificarse los parámetros que integran la ecuación de Poiseuille?

34) Busque información acerca de los diferentes tipos de presiones que se describen en el aparato cardiovascular. Analice y explique el temario solicitado.

35) Investigue los tipos de cateterismo y su importancia en hemodinamia para ser comentados en clase.

Aplicaciones a síndromes clínicos

36) Analice en base a la ecuación de Poiseuille los mecanismos de taquicardia, hipertrofia y dilatación cardíaca ante un incremento de la presión arterial.

37) Analice en base a la Ley de Laplace, una ruptura aneurismática en aorta abdominal.

Métodos de medición del Volumen Minuto

38) Investigue acerca de los diferentes métodos para la medición del volumen minuto.

-¿En que principio físico se basan?

NORMAS DE BIOSEGURIDAD

Por definición Bio (Vida), y Seguridad que viene de seguro y significa exento de todo riesgo o peligro; Entonces podemos definir las como la o las series de medidas o acciones que “Protegen nuestras Vidas de todo Riesgo o Peligro”.

El profesional que interviene en el cuidado de la salud está muchas veces enfrentado a la exposición de agentes bacterianos, virales, químicos y o físicos que ponen en riesgo su salud, por lo tanto es necesario que todas las instituciones creen programas de Bioseguridad, que definan las políticas y procedimientos para efectuar prácticas laborales seguras. Hay que recordar que todo el personal es responsable de su propia seguridad y de la de otros.

En general cada Institución elabora sus propias normas de Bioseguridad, aquí trataremos de nombrar pautas comunes a muchas de ellas que incluyan el riesgo de transmisión de patógenos por vía sanguínea:

- Las manos deben lavarse antes y después de un contacto con el paciente.
- Usar guantes cuando se está trabajando con sangre, líquidos corporales, secreciones, excreciones, y objetos contaminados.
- Usar máscaras y antiparras durante las actividades que puedan generar emanaciones o salpicaduras de sangre, líquidos corporales, secreciones, excreciones.
- Usar un guardapolvo durante las actividades que puedan generar emanaciones o salpicaduras de sangre, líquidos corporales, secreciones, excreciones.
- Asegurarse que los elementos desechables se eliminen adecuadamente.
- Asegurarse que se definan y se respeten los procedimientos adecuados para la limpieza y desinfección de las superficies ambientales.
- Identificar los residuos biológicos en forma adecuada, se aconseja usar bolsas plásticas Rojas con el logo de contaminante Biológico.
Colocar los desechos en bolsas dobles o contenedores para evitar roturas y o derrames durante el almacenamiento o transporte.
- Descartar los elementos punzantes y cortantes (agujas sin taparlas, vidrios rotos, porta objetos, etc.) en descartadores rígidos, resistentes, y herméticos.
- Colocar los líquidos en contenedores irrompibles y herméticos.
- Salpicaduras de sangre o líquidos que contienen sangre deben ser limpiados usando guantes u otras barreras si están indicadas, lavando con agua y jabón y desinfectando con una solución de hipoclorito de sodio al 1:100 para superficies lisas y al 1:10 para superficies rugosas, en agua. El hipoclorito diluido debe prepararse cada 24 horas.

Para esta actividad práctica el alumno debe concurrir con tensiómetro, estetoscopio y guantes.

PREGUNTAS MODELO

Es ampliamente difundido el uso del catéter de Swan-Ganz para la determinación del volumen minuto cardíaco. En relación al mismo, analice las afirmaciones siguientes y señale la opción correcta.

- a) Por ser del tipo “flotante”, es indispensable, en condiciones normales, el uso de la radioscopia para su ubicación en el árbol arterial pulmonar
- b) El catéter consta solamente de una a dos vías
- c) Posee un pequeño balón inflable desde su extremo proximal, que también permite ocluir el flujo sanguíneo en el vaso donde está alojado
- d) El termistor se pone en contacto con la sangre en el extremo proximal del catéter
- e) El catéter se coloca con su balón inflado sin complicaciones de ningún tipo

La arterioesclerosis es un proceso en las paredes de los vasos arteriales generado por el depósito de colesterol y otras sustancias, que disminuye la elasticidad de la pared vascular. Si un paciente padece un proceso arterioesclerótico importante, la hemodinamia arterial va a sufrir modificaciones para mantener un flujo sanguíneo adecuado. Seleccione la opción correcta que indica la modificación que se produce y qué Principio Teorema o Ley de la hemodinamia lo explica:

- a) La presión aumenta en relación directa con el radio del vaso, esto lo explica el Principio de Pascal
- b) La presión arterial aumenta por aumento del volumen minuto, esto lo avala la Ley de Poiseuille
- c) La energía total es constante por lo tanto si disminuye la capacidad de almacenar energía potencial debe aumentar la energía cinética, dichos cambios se explican en base al Teorema de Bernouille
- d) El engrosamiento de los vasos favorece la aparición de aneurismas, esto se explica por la Ley de Laplace
- e) Ninguna de las sentencias está explicada por el Principio, el Teorema o la Ley que se expresa en las mismas