|  |  |
| --- | --- |
| **UNIDAD 1. : Continuación.**  **TEMA. 1.6.** **Asistencia de enfermería en pacientes con afecciones respiratorias agudas**.  **Sumario:** Fisiología del sistema respiratorio. Ventilación. Definición. Mecanismo respiratorio. Resistencia de las vías aéreas. Adaptabilidad pulmonar. Presiones intrapulmonar intrapleurales . Volumen corriente y minuto. Definición e importancia. Volumen inspiratorio y espiratorio. Capacidad vital y capacidad residual.Espirometría. Concepto. Espació muerto fisiológico. Perfusión. Concepto. Funciones. Relación ventilación-perfusión. Concepto de cortocircuito pulmonar. Difusión. Concepto.  Unidad funcional respiratoria. Mecanismo de intercambio gaseoso. Transportación. Concepto. Transporte de O2 y CO2 Curva de disociación de la Hemoglobina Regulación. Concepto. Mecanismos de regulación. Otros factores que intervienen en la adecuada respiración. Diferencia de oxigenación alveolo-capilar. Concepto. Importancia. Fórmula para determinarlo.  ***ANATOMIA Y FISIOLOGIA RESPIRATORIA*** [**▲**](../../sistemas/respiratorio.htm) | |
| [***Vías aéreas***](#va) | [***Ventilación pulmonar***](#vpulm) |
| [***Circulación sanguínea***](#csang) | [***Intercambio gaseoso***](#intercambio) |
| [***Membrana alveolo capilar***](#mac) | [***Transporte gaseoso***](#transp) |
| [***Músculos respiratorios***](#musc) | [***Regulación de la respiración***](#regul) |
| [***Etapas de la respiración***](#etapas) |  |
|  |  |

***Vías aéreas***

Nariz, boca, faringe, laringe, tráquea, bronquios (bronquiotronco derecho, más vertical, corto y ancho; bronquiotronco izquierdo, más horizontal, largo), bronquios lobares derechos (superior, medio, inferior) e izquierdos (superior e inferior), bronquios segmentarios, bronquiolos terminales, bronquiolos respiratorios de 1er, 2do y 3er orden, conductos alveolares, sacos alveolares, alvéolos. El pulmón derecho consta de 3 lóbulos pulmonares (superior, medio, inferior) constituidos por 9 segmentos broncopulmonares (3-2-5) y el izquierdo consta de 2 lóbulos pulmonares (superior e inferior) constituidos por 8 segmentos broncopulmonares (4-4).

**Funciones básicas**

* Acondicionamiento del aire por filtración, calefacción y humidificación.
* Intervienen en la resonancia vocal y olfación.
* Conducción del aire.
* Intercambio gaseoso.

El **alvéolo** constituye la unidad funcional del pulmón y es donde se produce el intercambio gaseoso.

***Circulación sanguínea***

Los pulmones reciben sangre (VSP 450 ml, 9% del VS total) de 2 sistemas vasculares: pulmonar y bronquial.

* **Circulación pulmonar:** Representa casi todo el volumen minuto cardíaco, contiene sangre venosa y la arterialización de ésta, objetivo de la respiración pulmonar. Procede de la arteria pulmonar que nace en el VD, se ramifica en arterias pulmonares que penetran al pulmón por los hilios y se distribuyen hasta abarcar la superficie alveolar. A este nivel se constituye la red capilar pulmonar que originan las venas pulmonares.
* **Circulación bronquial:** Constituida por las arterias bronquiales originadas de la arteria intercostal superior derecha, subclavia, mamaria interna y aorta. Estas se ramifican a nivel de los lóbulos pulmonares y nutren el órgano, que posteriormente drena la sangre venosa a la vena ácigos, hemiácigos e intercostales, hacia la AD.

***Membrana alveolocapilar***

Componentes: alvéolo, líquido alveolar y factor surfactante, epitelio alveolar, membrana basal alveolar, espacio intersticial, membrana basal capilar, endotelio capilar, capilar.

***Músculos que intervienen en la respiración***

**Principal músculo:** Diafragma.

Se contrae durante la inspiración provocando aumento del diámetro torácico anteroposterior.

Se relaja durante la espiración provocando disminución del diámetro torácico anteroposterior.

**Músculos accesorios:**

**Inspiratorios:** Esternocleidomastoideo, serratos anteriores, escalenos, intercostales externos.

**Espiratorios:** Rectos abdominales, intercostales internos.

***Etapas fisiológicas de la respiración***

1. Ventilación pulmonar.
2. Intercambio gaseoso.
3. Transporte gaseoso.
4. Regulación de la ventilación.

***Ventilación pulmonar***

Entrada y salida de aire hacia adentro y afuera de los pulmones, mediante una diferencia de presiones dentro del alvéolo, en donde como resultado final de varios mecanismos, en inspiración es de - 1 mmHg y en espiración de + 1 mmHg, lo que permite que el aire fluya en ambas direcciones.

**Fases de la respiración fisiológica**

|  |  |
| --- | --- |
| **Inspiración**  **Fase activa** | Entrada de gas a los pulmones. Por acción de los músculos inspiratorios se produce una presión negativa alveolar, subatmosférica (disminuye 1 mmHg con respecto a la atmosférica) e intrapleural (de - 12 a -16 mmHg) lo que permite que la dirección del flujo sea hacia adentro. El aire entra a los pulmones ya sea espontáneamente o inducido de forma mecánica, siempre que se genere una diferencia de presión entre la vía aérea superior y los alvéolos; que en el caso de la VAM la presión positiva aplicada a la vía aérea superior es la responsable de esa diferencia de presión. La presión intrapulmonar depende de la elasticidad o rigidez (pulmón sano o enfermo), denominándose a esta facilidad o no de entrar aire a los pulmones: compliance pulmonar (Cl). Presión transpulmonar = presión en la vía aérea (P1) – presión intrapleural. Otra forma de expresarla sería 1/Clt = 1/Cl + 1/Ct. |
| **Espiración**  **Pase pasiva** | Salida de gas de los pulmones. Por acción de los músculos espiratorios se produce una presión positiva alveolar, supratmosférica (aumenta 1 mmHg con respecto a la atmosférica) lo que permite que la dirección del flujo sea hacia afuera, como consecuencia de una reducción del volumen de la caja torácica en forma pasiva. |

**Compliance toracopulmonar (Clt):** Es el aumento de volumen en los pulmones por cada unidad de presión intralveolar que aumente, o sea por cada 1 cm de H2O que aumente la presión intralveolar los pulmones se expanden 130 ml. La Clt es igual al recíproco de la elastancia (Clt = 1/E). Cuando hablamos de un pulmón “compliántico” (distensible), se necesita muy poca presión para aportarle el volumen de gas que requiere. El término pulmón “no-compliántico” (no distensible), expresa la necesidad de usar altas presiones para aportar el volumen de gas requerido.

Clt normal: 130 ml/cmH2O.

Clt del paciente intubado: 40-50 ml/cmH2O.

Para expandir los pulmones se toma en cuenta el parénquima pulmonar y el estado de las vías aéreas y de las estructuras osteomusculares de la pared torácica, por lo que de manera práctica se puede subdividir la Clt en compliance pulmonar (Cl) o dinámica y compliance de la pared torácica (Ct) o estática.

La Clt es una variable definida por la presión intrapulmonar y los volúmenes respiratorios. Se relaciona con la elasticidad y rigidez pulmonar (Cl y Ct).

La Cl es la elastancia de los pulmones por sí misma, y expresa la relación existente entre los cambios o diferencias de volúmenes y la presión transpulmonar (presión alveolar-presión intrapleural).

Clt dinámica (Cl) = Vt / (P1 – PEEP). VN: 50-80 ml/cmH2O.

La Ct es la elastancia de la pared torácica.

Clt estática (Ct) = Vt / (P2 – PEEP). VN: 60-100 ml/cmH2O (1 ml/cmH2O/Kg peso).

Donde:

**Volumen de ventilación pulmonar (volumen corriente o tidal - Vt):** Volumen de aire inspirado y espirado en cada respiración normal. VN: 500 ml. Vt ventilación espontánea: 5-7 ml/Kg. Vt VAM: 7-10 ml/Kg.

**P1: Presión inspiratoria pico (PIP):** Presión máxima que se alcanza en la vía aérea durante la inspiración venciendo las resistencias y las fuerzas elásticas. Presión que requiere generar el ventilador para introducir el Vt y está determinada por la flexibilidad de la vía aérea, la elasticidad o rigidez del parénquima pulmonar y de la caja torácica; o sea que está influenciada por la Clt, la resistencia de la vía aérea (RVA), el Vt, la velocidad de flujo pico inspiratorio (Vi) y la PEEP. La PIP varía inversamente con la Clt y directamente con el Vt, RVA y Vi (PIP = Vt/Clt + (RVA x Vi) + PEEP). Aumenta en la ventilación con altos Vt (sobredistensión alveolar); por aumento de la presión pleural: tos, insuflación de gas abdominal, posición de la cabeza hacia abajo, neumotórax a tensión, vendajes compresivos, fibrosis pulmonar; por aumento de la resistencia de la vía aérea: broncoespasmo, edema pulmonar, secreciones, intubación selectiva, cuerpo extraño; por aumento de la resistencia del TET: pequeño calibre, secreciones, acodaduras, hernia de coof; y cuando quedan pocas concentraciones de relajantes musculares y el paciente hace esfuerzos por respirar. Se recomienda evitar que la PIP ascienda por encima de 35 cmH20, para proteger el pulmón y evitar el daño pulmonar (barotrauma).

**P2: Presión alveolar (presión estática, meseta o plateau):** Presión al final de la inspiración cuando el flujo de gases se hace cero. En este momento se redistribuyen los gases por el pulmón. Es la presión para vencer las fuerzas elásticas, o sea la resistencia que opone el parénquima pulmonar más la caja torácica al introducir el Vt, no toma en cuenta la RVA. Solo se eleva cuando hay disminución de la Cl y permanece sin importantes modificaciones cuando hay aumento de la RVA.

**P3: Presión positiva al final de la espiración (espiratoria) (PEEP):** Parámetro ventilatorio que se fija cuando se desea este efecto, pues se utiliza para mantener los alvéolos abiertos al final de la espiración. Los alvéolos tienden a retraerse por la presencia de fibras elásticas y por la atracción intermolecular del líquido intralveolar (tensión de superficie). El colapso alveolar está limitado por una presión negativa intrapleural al final de la espiración de - 4 mmHg y por la acción del factor surfactante (Dipalmitol lecithin), constituido por fosfolípidos, lípidos neutros y proteínas, producido en el alvéolo por los neumocitos tipo II, que disminuye la tensión de superficie del líquido intralveolar, estabiliza el tamaño alveolar, disminuye la tendencia al edema alveolar y facilita la salida del líquido del interior del alvéolo. PEEP por siglas del inglés Positive End Expiration Pressure.

**Volúmenes y capacidades pulmonares (constantes dinámicas):** Mediciones promedio del volumen de aire del pulmón normal y sus variaciones de acuerdo a los movimientos respiratorios. Permiten determinar las afectaciones en determinadas enfermedades pulmonares y calcular algunos parámetros en VAM. Las capacidades pulmonares son la suma de los volúmenes pulmonares.

**Volumen de ventilación pulmonar (volumen corriente o tidal - Vt):** Volumen de aire inspirado y espirado en cada respiración normal. VN: 500 ml. Vt ventilación espontánea: 5-7 ml/Kg. Vt VAM: 7-10 ml/Kg.

**Volumen minuto (VM):** Volumen de aire que entra o sale de los pulmones en un minuto. Depende de la frecuencia respiratoria y del volumen tidal. VM = FR x Vt.

**Volumen de reserva inspiratorio (VRI):** Cantidad máxima de aire adicional al Vt que puede ser inspirado en inspiración forzada al final de una inspiración normal. VN: 3000 ml.

**Volumen de reserva espiratorio (VRE):** Cantidad máxima de aire adicional al Vt que puede ser espirado en espiración forzada al final de una espiración normal. VN: 1100 ml.

**Volumen residual (VR):** Volumen de aire remanente en los pulmones después de una espiración máxima. No puede ser alterado voluntariamente y es lo que mantiene fisiológicamente los alvéolos abiertos al final de la espiración. VN: 1200 ml.

**Capacidad inspiratoria (CI):** Volumen máximo de aire que puede ser inspirado después de una espiración normal. CI = Vt + VRI = 3500 ml.

**Capacidad funcional residual (CFR):** Volumen de aire que permanece en los pulmones después de una espiración normal. (Proporciona aire en los alvéolos para oxigenar la sangre entre dos respiraciones. Mantiene cifras estables de PO2, PCO2 y pH. Mantiene distendidos los alvéolos). Esta condición fisiológica es la que se trata de imitar cuando se usa PEEP para evitar el colapso alveolar en algunas enfermedades pulmonares. CFR = VRE + VR = 2300 ml.

**Capacidad vital (CV):** Volumen máximo de aire que puede ser espirado (espiración forzada) después de una inspiración máxima. CV = VRI + Vt + VRE = 4600 ml.

**Capacidad pulmonar total (CPT):** Volumen máximo de aire que los pulmones pueden alcanzar con un esfuerzo inspiratorio máximo. Es la suma de todos los volúmenes pulmonares. CPT = Vt + VRI + VRE + VR = 5800 ml.

**Importancia de la CFR o de la renovación del aire alveolar:** La CFR es de 2300 ml, pero solo unos 350 ml de aire nuevo llegan a los alvéolos en una respiración y solo salen 350 ml de los alvéolos en una espiración, por lo tanto se necesitan varios movimientos respiratorios para cambiar todo el aire alveolar. La importancia de esta renovación lenta es evitar cambios bruscos de presiones en los gases, proporcionar aire en los alvéolos y manteniéndolos distendidos para oxigenar la sangre entre 2 respiraciones y conservar estables las cifras de O2, CO2 y pH.

**Factores que modifican los volúmenes y capacidades pulmonares**

* Talla.
* Constitución.
* Posición.
* Sexo. Las mujeres tienen un 20-25 % menos que los hombres.
* Decúbito: Disminuyen por ascenso del diafragma, aumento de volumen sanguíneo pulmonar que disminuye el espacio disponible para el aire.
* Adaptabilidad.

***Intercambio gaseoso***

Difusión de O2 y CO2 entre alvéolos y capilares que ocurre a expensas de los cambios de presiones (gradiente de presión) entre la vía aérea, los alvéolos y el espacio intrapleural. Los gases se mueven libremente de acuerdo a la concentración molecular, lo que genera una presión total de los gases y una presión parcial de cada uno.

**Concentración de los gases (presión parcial) del aire inspirado, alveolar y espirado**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **N2** | **O2** | **H20** | **CO2** |
| **Aire**  **inspirado** | 78.6%  (597 mmHg) | 20.8%  (159 mmHg) | 0.50%  (3.7 mmHg) | 0.09%  (0.3 mmHg). |
| **Aire**  **alveolar** | 75%  (569 mmHg) | 13.6%  (104 mmHg) | 6.2%  (47 mmHg) | 5.3%  (40 mmHg) |
| **Aire**  **espirado** | 74% | 16% | 6.2% | 3.6% |

Esta mezcla de gases no es constante depende: del lugar, altura a nivel del mar, humedad y presión barométrica (a mayor altura y mayor humedad es menor la concentración de O2). A medida que la mezcla de gases entra en el organismo varía la misma. La nariz filtra, humedece y calienta el aire inspirado y aumenta la proporción de H2O.

A nivel del alvéolo los gases se ponen en contacto con los glóbulos rojos atravesando por difusión la membrana alveolocapilar y difundiendo en dependencia de:

1. **Diferencia de presiones:** Difusión de acuerdo a donde existe mayor presión parcial a donde existe menor. El O2 del alvéolo al capilar y el CO2 del capilar al alvéolo.
2. **Grosor de la membrana alveolocapilar:** Alterado en edema, inflamación o fibrosis, lo que representa un obstáculo para la difusión de los gases.
3. **Cantidad de membrana íntegra:** Reducida en agenesia pulmonar, lobectomía, enfermedad bulosa, enfisema, lo que disminuye el intercambio gaseoso.
4. **Relación ventilación / perfusión (V/Q):** Normalmente existe un equilibrio entre la cantidad de alvéolos adecuadamente ventilados y los capilares pulmonares adecuadamente perfundidos. Los pulmones reciben 2.8 L/m2 de SC de aire y 3.5 L/m2 de SC de sangre: V/Q = 2.8 / 3.5 = 0.8. Puede ser variable en los vértices (3.3) donde los alvéolos son hiperventilados y en las bases (0.6) donde los alvéolos son hiperperfundidos. Si patológicamente este equilibrio se rompe se produce un inadecuado intercambio de gases. La discordancia entre V/Q es la causa más frecuente de hipoxemia arterial.

Normalmente existe un shunt (cortocircuito) fisiológico o desequilibrio V/Q pues una pequeña cantidad de sangre (3-5%) que pasa por los pulmones no es oxigenada, proveniente fundamentalmente de los vasos bronquiales y de una parte de las bases pulmonares (QS/QT).

QS/QT = (CcO2 – CaO2) / (CcO2 – CvO2). VN: 0.04-0.08 (4-8 %).

CaO2 = 1.34 x Hb x SaO2 + (PaO2 x 0.003).

CcO2 = 1.34 x Hb x SaO2 + (PcO2 x 0.003).

CvO2 = 1.34 x Hb x SvO2 + (PvO2 x 0.003).

Hb en mg/%. SaO2 capilar es de 100%. SaO2 venosa mezclada es de 75%. Dividir Sat por 100 y trabajar con decimales. PO2 en % su valor real.

**Coeficiente de difusión de los gases**

El paso de los gases depende de su solubilidad en la membrana y del peso molecular. El CO2 tiene un coeficiente de solubilidad 20 veces mayor que el O2, por lo que es más difusible.

Coeficiente de solubilidad O2: 1.

Coeficiente de solubilidad CO2: 20.

***Transporte gaseoso***

Transporte de O2 de los pulmones a las células y de CO2 de las células a los pulmones. El O2 es transportado por la Hb y a nivel celular se utiliza en todas las reacciones metabólicas necesarias (ciclo de Krebs), obteniéndose ATP, H2O y CO2. El H2O se elimina fundamentalmente por el riñón y el CO2 por los pulmones.

**Transporte de O2 por la sangre:** La sangre venosa llega a los capilares pulmonares con una PaO2 de 40 mmHg y la presión alveolar de O2 es de 104 mmHg, así que hay un gradiente suficiente para la difusión del mismo en la dirección alvéolo-capilar. El 97% de O2 se encuentra unido a la Hb. El 3% del O2 se encuentra libre en el plasma (el cual es el responsable de la PaO2). Cantidad máxima de O2 que puede unirse a la Hb: La sangre de una persona normal tiene 15 g de Hb /100 ml. A cada gramo de Hb se une 1.34 ml de O2. Por tanto 15 x 1.34 = 20.20 ml. La sangre puede transportar 20 ml/100 ml con una SatO2 al 100%. Cantidad de O2 liberado por la Hb: La Hb saturada en un individuo normal es de 97% para una PaO2 de 95 mmHg, esto representa 19.4 ml de O2. Al atravesar los capilares tisulares disminuye a 14.4 ml (PO2= 40 mmHg y SatO2 de 75%), por tanto en condiciones normales se transportan 5 ml de O2por cada 100 ml de sangre.

**Transporte de CO2 por la sangre:** El CO2 es un gas 20 veces más difusible que el O2, lo que permite que a pesar de que los gradientes no son muy marcados (presión alveolar de CO2 de 40 mmHg y PaCO2 de 45 mmHg en el capilar) este gas difunda adecuadamente. En condiciones normales se transportan 4 ml de CO2 por cada 100 ml de sangre. Formas químicas en que se transporta el CO2: CO2 libre = 7%. Bicarbonato = 70%. CarboxiHb = 23%.

**Curva de disociación de la Hb:**

* Desplazada a la izquierda con disminución de P50 y aumento de la afinidad del O2 por la Hb y menor liberación de O2 a los tejidos: Alcalosis, disminución del CO2. Hiperoxia. Hipotermia. Disminución del 2.3 difosfoglicerato (DPG). Hb fetal.
* Desplazada a la derecha con aumento de P50 y disminución de la afinidad del O2 por la Hb y mayor liberación de O2 a los tejidos: Acidosis, aumento del CO2. Hipoxia. Hipertermia. Aumento del 2.3 DPG.

La curva de disociación de la Hb determina el transporte de O2 y CO2 a nivel alveolar y capilar tisular.

**P50:** Tensión de O2 a 50% de saturación de la sangre. VN: 24-28 mmHg. Es un reflejo de la afinidad de la Hb por el O2.

Cuando la sangre alcanza los pulmones, difunde CO2 de la sangre a los alvéolos, esto hace que disminuya la PCO**2** y aumente el pH. Esto desplaza la curva de disociación de la Hb a la izquierda que origina aumento de la captación y fijación de O2por la Hb. En los capilares tisulares el CO2penetra en la sangre y esto hace que aumente la PCO2y disminuya el pH con desplazamiento de la curva de disociación de la Hb a la derecha y por tanto hay mayor liberación de O2a los tejidos. La reducción de la afinidad del a Hb por el O2 por disminución del pH sanguíneo se conoce como **efecto Borh.**

***Regulación de la ventilación***

1. **Mecanismo voluntario:** A través de la corteza cerebral por los tractos corticoespinales dorsolaterales. Se puede producir apnea e hiperventilación voluntaria.
2. **Mecanismo involuntario:** Control nervioso a través del centro respiratorio, nervios craneales y periféricos.

Control humoral a través de quimiorreceptores centrales y periféricos, dependiente del pH y de las concentraciones de O2 y CO2.

**Centro respiratorio**

A nivel del tronco encefálico. Constituido por 3 áreas:

1. **Área inspiratoria:** Regula la inspiración. Recibe señales de los nervios craneales glosofaríngeo (IX) y vago (X) desde los quimiorreceptores periféricos y vías aéreas altas al contraerse o estirarse por el movimiento del aire. Emite señales al diafragma y músculos inspiratorios para que se efectúe la inspiración. Luego se inactiva por 3 seg para que se efectúe la espiración.
2. **Área espiratoria:** Regula la espiración. Normalmente se encuentra inactiva pues la espiración es un proceso pasivo. Se activa cuando la persona experimenta una insuficiencia respiratoria.
3. **Área neumotáxica:** Regula la FR. Es la encargada de inactivar el área inspiratoria.

**Mecanismos que regulan la ventilación**

* Quimiorreceptores centrales localizados en el bulbo raquídeo que se estimulan por variaciones en el pH, concentración de H+ y de CO2 en el LCR.
* Quimiorreceptores periféricos localizados en el cuerpo carotídeo y arco aórtico que se estimulan por variaciones en la PaO2, PaCO2 y pH (ácido) relacionados con los nervios craneales IX y X.
* Receptores en pulmón y vías aéreas superiores relacionados con el nervio vago.
* Propioceptores localizados en los músculos intercostales y diafragma.
* Barorreceptores localizados en el arco aórtico estimulados por variaciones de la TA.
* Reflejos de las vías aéreas altas.
* Control neurológico central por estructuras corticales, del tronco encefálico y médula espinal.

**Drogas que deprimen el CR:** Opiáceos (morfina, meperidina, heroína, codeína, metadona), benzodiacepinas, propofol, barbitúricos, anestésicos generales, venenos, agentes bloqueadores neuromusculares, aminoglucósidos, estricnina, arsénico, salicilatos.

**Drogas que estimulan el CR:** Anfetaminas, cocaína, polvo de ángel, LSD.