

II. FISIOLOGÍA DEL APARATO RESPIRATORIO

Por **Marisa Gelabert**
Teresa Verdura
Berty Suñé
M.^a Paz Iruretagoyena
A.T.S.

Continuando nuestro itinerario, iniciado en el número anterior, hoy ofrecemos la fisiología del aparato respiratorio, que esperamos sea de utilidad e interés. Próximamente les presentaremos la fisiopatología del mismo aparato que, completando a los dos anteriores, ayudará a una mejor comprensión de su morfología y funcionamiento.

La función esencial del aparato respiratorio es asegurar los intercambios gaseosos, incorporación de O₂ al interior del organismo y expulsión de CO₂ al exterior; la función respiratoria tiene como misión la nutrición celular y, además, la regulación del pH corporal y de la temperatura. Estas dos últimas funciones no radican en un solo órgano, pero sí son reguladas por la respiración, compartiéndolas con otros sistemas del cuerpo.

El nitrógeno y el oxígeno son los únicos gases que existen en concentraciones importantes en el aire seco, pero en el aire tibio y húmedo de la tráquea hay una considerable cantidad de vapor de agua. Como la presión barométrica total en la tráquea se mantiene invariable, el vapor de agua desplaza a los demás gases, reduciendo así sus presiones parciales. Así la presión parcial de oxígeno disminuye de 159,1 a 149,2 mm de Hg con el simple entibiamiento y humidificación del aire.

A medida que el gas avanza hacia el tracto respiratorio

inferior, donde tiene lugar el intercambio gaseoso, se registran cambios adicionales en su composición (véase cuadro inferior). Estos cambios en la composición de los gases no sólo reflejan las modificaciones de la temperatura y de la presión del vapor de agua, sino que se deben a la captación de oxígeno a partir del espacio alveolar y a la liberación de anhídrido carbónico dentro del mismo a través de las superficies intercambiadas de gases de las unidades pulmonares periféricas. En circunstancias normales, la sangre pulmonar capta oxígeno

en forma proporcional a la utilización de éste en los tejidos, y, el anhídrido carbónico se libera desde la sangre que circula por los pulmones en forma proporcional a la producción de anhídrido carbónico en los tejidos.

LA FUNCIÓN RESPIRATORIA

La respiración, en su fase pulmonar, podemos clasificarla en tres aspectos:

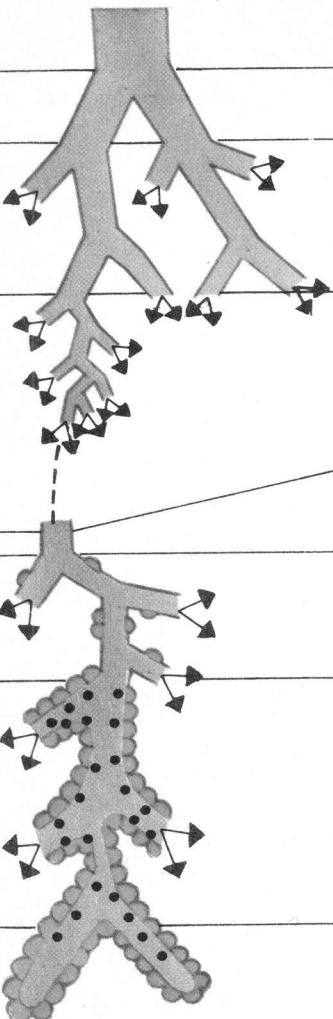
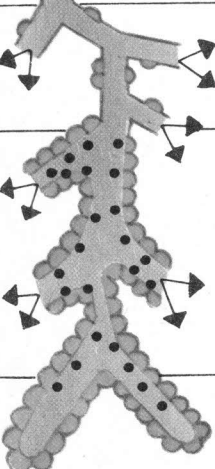
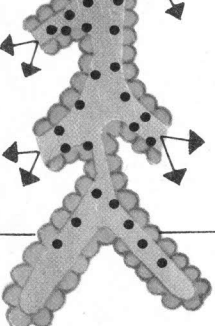
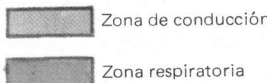
1) VENTILACIÓN

El aire penetra en las vías respiratorias porque al expandirse el tórax, merced a la contracción de los potentes músculos inspiratorios, disminuye la presión en su interior. La espiración subsiguiente, que supone la salida de aire, es un

COMPOSICIÓN DE LOS GASES RESPIRATORIOS

GAS	Aire seco		Aire traqueal húmedo		Aire alveolar	
	Presión parcial	% del total	Presión parcial	% del total	Presión parcial	% del total
Nitrógeno	600,7	79,02	563,6	74,16	568,0	74,74
Oxígeno	159,1	20,95	149,2	19,63	105,0	13,82
Anhídrido carbónico	0,2	0,03	0,2	0,03	40,0	5,26
Vapor de agua	0	0,00	47,0	6,18	47,0	6,18
Total	760,0	100,00	760,0	100,00	760,0	100,00

(Las presiones están indicadas en mm de Hg)

HISTOLOGIA DE LAS VIAS AEREAS PULMONARES			
	Gene- ración	Dicotomía	
ZONA DE CONDUCCION	0		Tráquea (al servicio de los dos pulmones)
	1		Bronquios principales (cada pulmón posee el suyo)
	2		Bronquios intrapulmonares (al servicio de un lóbulo, después de un segmento y de un subsegmento)
	3		
	4 5 6 7 8		Bronquiolos (al servicio de un lobulillo pulmonar)
	16		Bronquiolos terminales
ZONA DE TRANSICION Y ZONA RESPIRATORIA	17		Bronquiolos respiratorios (al servicio de un ácini pulmonar)
	18		
	19		
	20 21 22		Conductos alveolares
	23		Sacos alveolares
			

fenómeno pasivo del que se encargan la elasticidad pulmonar y la capacidad retráctil de los alveolos, derivada de que su superficie interna está cubierta por una sustancia "surfactante", que hace posible que actúe la tensión superficial.

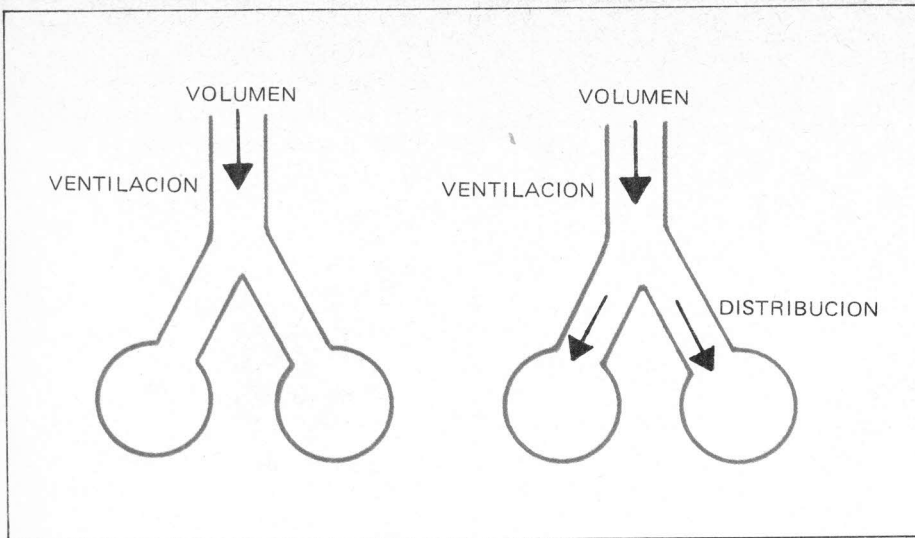
Hay que tener en cuenta que parte del aire movilizado se utiliza para renovar el del espacio que no toma parte activa en el intercambio gaseoso con la sangre, es decir, del espacio muerto; a este respecto,

cabe distinguir entre espacio muerto anatómico y funcional, pues en tanto que el primero representa el volumen de las vías respiratorias hasta los bronquiolos, el funcional, que es el que nos importa, expresa todo el volumen aéreo que no interviene en el recambio gaseoso, es decir, que son aireados en exceso respecto a su perfusión.

La ventilación alveolar es la que interviene en la renovación de los gases de la sangre y equivale

a la ventilación total menos la del espacio muerto funcional. La expansión y retracción del tórax y la circulación aérea que acarrea suponen unas resistencias, que expresan el trabajo de la respiración. Estas resistencias son la elástica, es decir, la que oponen a ser distendidos los tejidos elásticos del pulmón y de la pared torácica, y las no elásticas o viscosas; estas últimas son la resistencia a la deformación de los tejidos no elásticos del pulmón y de la pared torácica. La ventilación se lleva a cabo, en condiciones normales, con una frecuencia de unos 15 ciclos/minuto, que, desde el punto de vista energético, es la más económica para proporcionar una ventilación alveolar adecuada.

El control de la ventilación es bastante complicado: intervienen en él una serie de centros situados en el bulbo y la protuberancia, de los que parten vías descendentes, que enlazan con los núcleos de los últimos pares craneales y con las astas anteriores de la médula, donde residen las motoneuronas que controlan la actividad de los músculos que intervienen en la respiración. Actúan sobre estos centros estímulos diversos, humorales y nerviosos, que influyen sobre su actividad; entre los humorales destacan el aumento de la presión de CO_2 en la sangre, el descenso del pH y la disminución de la presión del oxígeno, que ejercen un efecto positivo, los dos primeros actuando directamente y la última indirectamente, a través de los quimiorreceptores del cayado aórtico y del seno carotídeo; entre los estímulos nerviosos tenemos el que nace del mismo pulmón al ser distendido en la inspiración —reflejo de Hering-Breuer—, que la interrumpe, y otros procedentes de la corteza cerebral, de las articulaciones, de la superficie cutánea, etc.



Pues bien, la sangre que llega a los capilares perialveolares tiene una presión de oxígeno de 40 mmHg, y la presión del CO_2 de 45 mmHg; en el aire alveolar la presión del O_2 es de 100 mmHg, y la del CO_2 de 40 mmHg, de tal forma que, de acuerdo con los factores señalados, los gases difunden el O_2 hacia la sangre y el CO_2 hacia el interior del alveolo para que en la sangre arterial que abandona el pulmón la presión del O_2 sea de unos 100 mmHg y de 40 mmHg la del CO_2 .

2) DIFUSIÓN

La transferencia de oxígeno desde el alveolo a la sangre y de CO_2 en sentido inverso supone que estos gases difundan a través del espacio que separa el contenido alveolar de la sangre que circula por los capilares perialveolares. Este espacio está ocupado por la "membrana alveolocapilar", que está integrada por la membrana alveolar, una membrana basal, el endotelio de los capilares, el plasma y la membrana de los hematíes; estos últimos elementos, es decir, el plasma y la membrana eritrocitaria, figuran en esta barrera, pues en su mayor parte el oxígeno debe penetrar en los hematíes para combinarse con la hemoglobina que transporta.

La capacidad de difusión de estos gases depende de los siguientes factores:

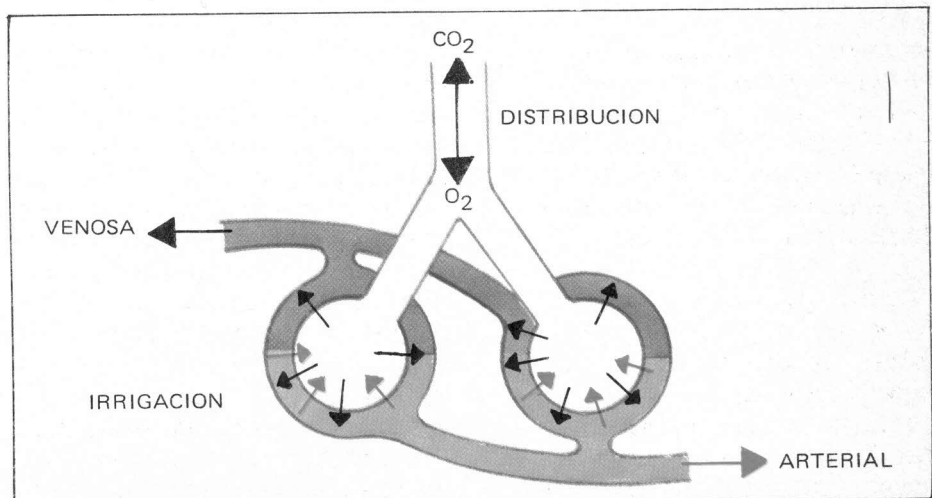
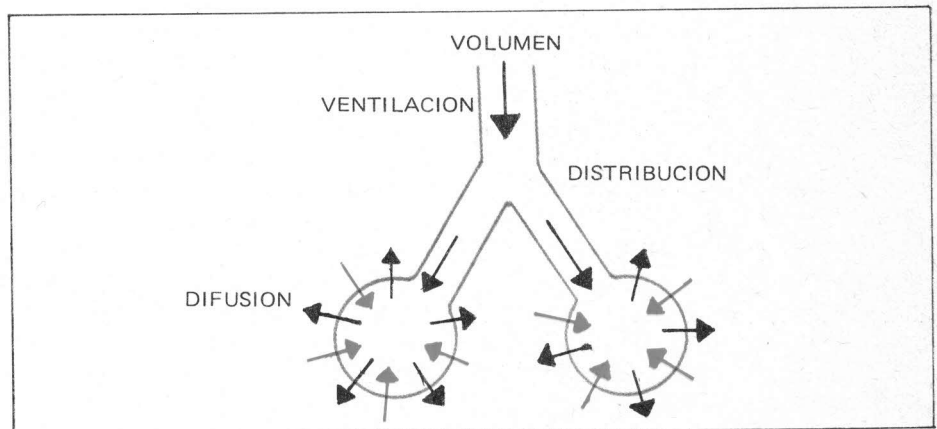
- Espesor y superficie de la membrana alveolocapilar; el espesor normal es de 0,3 micras y la superficie de 100 mm^2 .
- Tiempo durante el que están en contacto el aire alveolar y la sangre, que normalmente es de 0,5 segundos.
- Solubilidad del gas en las estructuras que integran la membrana; a este respecto es importante recordar que la

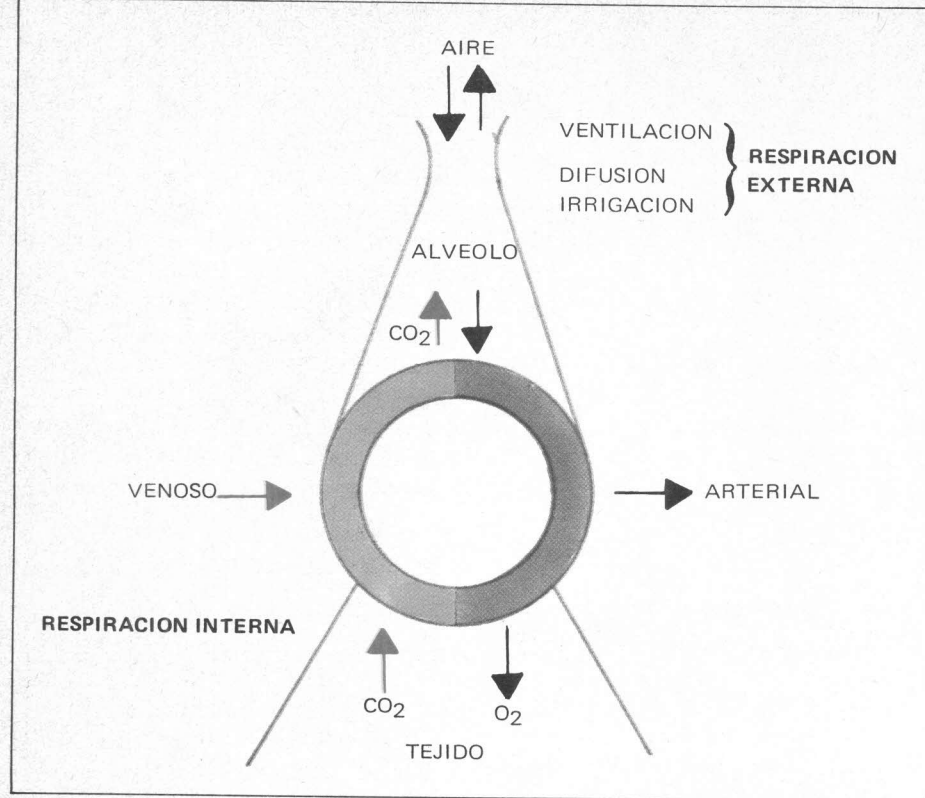
solubilidad del CO_2 es 20 veces mayor que la del oxígeno.

- Diferencia de presión a que se encuentra el gas en el espacio alveolar y en la sangre.

3) CIRCULACIÓN

De nada serviría que la ventilación renovara activamente el aire alveolar y que los gases difundieran libremente, si la perfusión sanguínea no fuera normal. Es decir, la arteria pulmonar debe aportar un





volumen determinado de sangre, que debe distribuirse uniformemente por los capilares alveolares que rodean el alveolo. La tensión en la arteria pulmonar es baja y las paredes de la misma muy distensibles, de modo que puede aumentar considerablemente el flujo que la atraviesa sin que se modifique sustancialmente su régimen tensorial; a su vez, cuando aumenta el flujo, por ejemplo al realizar ejercicio físico, se abren capilares que en situación de reposo están colapsados, y lo hacen pasivamente, es decir, obedeciendo al aumento de presión, con la cual aumenta la superficie de contacto entre el aire alveolar y la sangre y se hace posible la oxigenación y la depuración de CO_2 del volumen de sangre incrementado. También intervienen factores humorales y nerviosos en el control del tono de los vasos pulmonares. De momento, nos interesa recordar que cuando el aire alveolar no se renueva adecuadamente se pone en marcha un reflejo alveolo-arteriolar, demostrado por Von

Euler y Liljestrand, en virtud del cual se contraen las arteriolas y disminuye el flujo de sangre a través del área hipoventilada. Este reflejo tiene un gran interés fisiopatológico. Se debe distinguir entre respiración externa e interna. Como ya hemos dicho anteriormente los pulmones tienen la misión de captar oxígeno y emitir anhídrido carbónico; este proceso recibe el nombre de **respiración externa** y consta de 3 fases: ventilación, difusión, e irrigación o circulación. Se entiende por **respiración interna** al intercambio de oxígeno y anhídrido carbónico en el seno de los tejidos. Para valorar el funcionamiento del aparato respiratorio hay pruebas específicas que permiten estudiarlo con precisión; son pruebas destinadas a explorar cada uno de los tres aspectos de la respiración (ventilación, difusión y circulación):

Exploración de la ventilación

Volúmenes respiratorios: se denominan volúmenes respiratorios o volúmenes

pulmonares a las cantidades de aire puestas en movimiento durante los diferentes tiempos de la respiración y de los distintos tipos respiratorios. Durante la respiración tranquila, en reposo, los volúmenes respiratorios se explican de la siguiente manera:

- El aire utilizado entre una espiración y una inspiración normales representa el volumen respiratorio (VC): medio litro.
- Si prolongamos una inspiración normal mediante una inspiración forzada, penetrará en los pulmones una cantidad de aire suplementaria, que representa el volumen de reserva inspiratoria (VRI): un litro y medio.
- La suma de este volumen de reserva inspiratorio y del volumen respiratorio constituye la capacidad inspiratoria (CI): dos litros.
- Si tras una espiración normal se prosigue la espiración forzada hasta su último límite, se expulsa entonces el volumen de reserva espiratorio (VRE): un litro y medio.
- La suma del volumen de reserva inspiratorio, del volumen respiratorio y del volumen de reserva espiratoria constituye la capacidad vital (CV): tres litros y medio.
- La suma del volumen residual y del volumen de reserva espiratorio constituye la capacidad residual funcional (CRF): dos litros.
- Por último, la suma de la capacidad vital y del volumen residual constituye la capacidad pulmonar total: cuatro litros.

Durante el esfuerzo. Los volúmenes diversos se reparten distintamente en la capacidad pulmonar total.

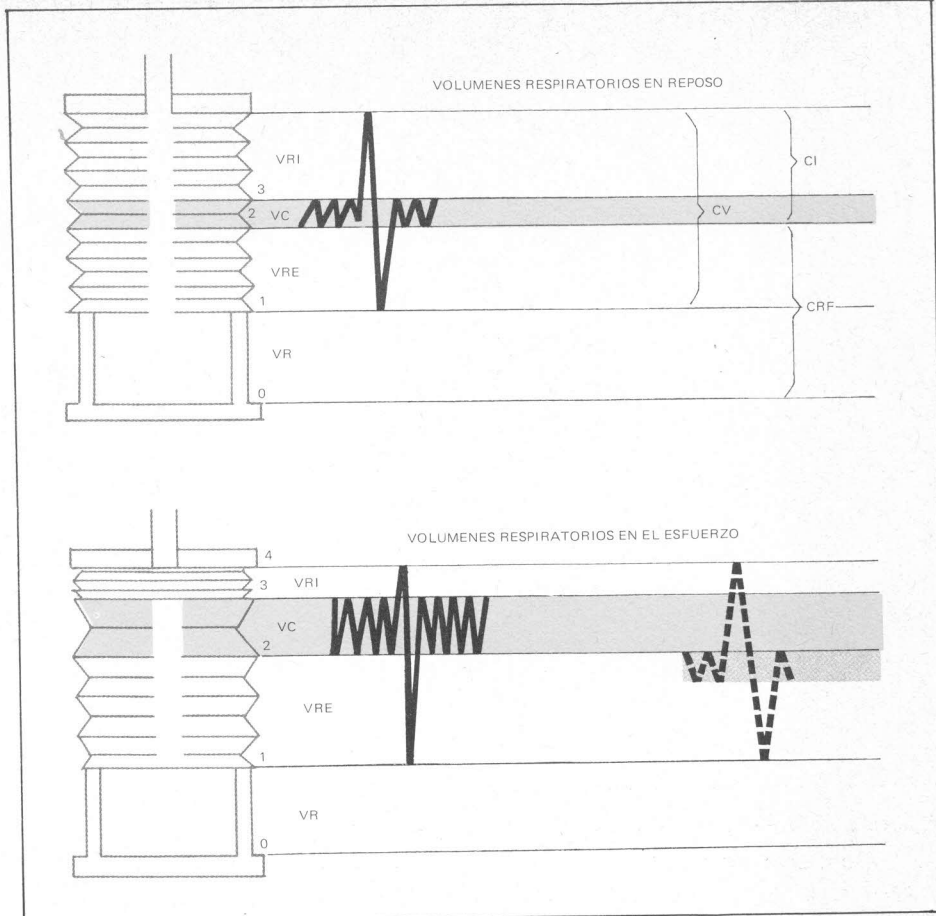
- El único que no cambia es el volumen residual, puesto que se trata de un aire imposible

de expulsar, cualesquiera que sea la fuerza y la intensidad de los movimientos respiratorios.

- En cambio, a medida que se acelera la frecuencia respiratoria, se produce primero el aumento del volumen respiratorio (VC) hasta un máximo, y luego, como la frecuencia respiratoria continúa aumentando, aquél tiende a descender ligeramente. Se denomina decúbito ventilatorio al producto de la frecuencia respiratoria multiplicado por el volumen respiratorio. De ello se deduce que el decúbito ventilatorio alcanza al fin una cifra máxima.
- El volumen de reserva espiratorio aumenta de manera sensible, lo que quiere decir que la amplitud de la espiración rápida se sitúa más cerca de la dilatación máxima del tórax que durante la respiración en reposo.
- El aumento del volumen respiratorio y el volumen de reserva espiratorio tiene como consecuencia la disminución del volumen de reserva inspiratoria (VRI).

Se denomina espacio muerto a un volumen de aire que no participa en los cambios respiratorios.

El espacio muerto anatómico representa el volumen del árbol respiratorio, es decir, de las vías aéreas superiores: boca, fosas nasales, incluidos tráqueas, bronquios y bronquiolos. El volumen del espacio muerto es de 150 ml, lo que quiere decir que en respiración normal, cuando tan sólo se moviliza el volumen respiratorio, únicamente llegan 350 ml a las paredes alveolares y participan en la hematosis. Para aumentar el rendimiento se precisa aumentar el volumen ventilado por intervención del volumen de reserva inspiratorio o espiratorio,



o bien disminuir el volumen del espacio muerto. Esto puede realizarse por medio de la traqueotomía, que establece una comunicación directa entre la tráquea y el exterior, y disminuye el espacio muerto en casi la mitad. Sin embargo, la traqueotomía no es un acto inocuo, ya que priva al árbol respiratorio de sus defensas naturales y lo expone a infecciones broncopulmonares graves.

Exploración de la difusión

Existen procedimientos para valorar la capacidad de difusión del oxígeno o del CO, aunque son poco utilizados en clínica.

Exploración de la circulación

Para comprobar si la circulación es regular, es decir, si todas las zonas están igualmente perfundidas, que es el dato que interesa, es preciso acudir a

técnicas: angiografía, gammagrafía, etc.

Estudio de los gases sanguíneos

Interesa determinar el O₂ y CO₂ en la sangre arterial de la circulación general, obtenida, por ejemplo, mediante punción de la arteria; esta sangre arterial es la que ha abandonado el pulmón después de haber intercambiado sus gases con el aire alveolar. Los resultados normales son los siguientes:

— Oxígeno: La presión de O₂-PO₂ es de 100 mmHg, la saturación de O₂ del 97% y el contenido de O₂ de 20 vol. %, es decir, 20 cc/100 cc de sangre—; y

— CO₂: La presión de CO₂-PCO₂ es de 40 mmHg, y el contenido de 51 vol. %. Además de las determinaciones en condiciones basales, interesa repetirlas después de realizar ejercicios y respirando mezclas gaseosas ricas en oxígeno.