

METODO ORIGINAL PARA DETERMINAR  
LOS COMPONENTES DEL GRADIENTE AL-  
VEOLO-ARTERIAL Y PRESION DE CO<sub>2</sub>  
ALVEOLAR

D. CENTENERA FONDÓN (\*).

Instituto de Investigaciones Clínicas y Médicas.  
Madrid.

Director: Profesor C. JIMÉNEZ DÍAZ.

## INTRODUCCIÓN.

El gradiente alvéolo-arterial está constituido por la diferencia de presiones de O<sub>2</sub> entre el alvéolo, PAO<sub>2</sub> y la arteria Pao<sub>2</sub>.

En sujetos normales la presión de O<sub>2</sub> alveolar se determina con bastante fidelidad con la técnica de HALDANE y PRIESTLEY o con la más reciente, apta para el registro continuo, de RAHN y OTIS. En sujetos afectados de procesos pulmonares crónicos no se obtienen resultados válidos con estas técnicas, sobre todo si existen anomalías de distribución del aire inspirado.

En estos casos es preferible recurrir a la ecuación del aire alveolar (COMROE y cols.<sup>1</sup>), desarrollada por diversos autores, con la cual puede obtenerse un valor de PAO<sub>2</sub> que si no es absolutamente fidedigno (por partir de la base de que PACO<sub>2</sub> = Pao<sub>2</sub> que no es real cuando la mezcla venosa es de cierta cuantía), se aproxima más a la realidad que el que se obtiene analizando muestras de la última porción de aire espirado. También puede obtenerse gráficamente este punto con el método ideado por RILEY y COURNAND<sup>2</sup>, inscribiendo simultáneamente en una gráfica el recambio gaseoso en sus dos fases hemática y gaseosa: la gráfica debe construirse de acuerdo con las premisas de FENN, RAHN y OTIS<sup>3</sup>. Con este método se obtiene lo que aquellos autores<sup>2</sup> denominan punto ideal de PO<sub>2</sub>. Este punto se halla en la confluencia de las dos líneas de cociente respiratorio (R. Q.)—gaseosa y hemática—para el pulmón como un todo, aceptando como es lógico que R. Q. es igual para ambas fases. Este punto ideal de PO<sub>2</sub> coincide con la PAO<sub>2</sub> obtenida mediante la ecuación del aire alveolar en sujetos normales. El desconocimiento de la concentración de CO<sub>2</sub> al final del capilar y, consiguientemente, de la presión de CO<sub>2</sub> relativa, resta precisión absoluta a este método, ya que esta presión sólo ha podido, hasta ahora, obtenerse por aproximación.

En cuanto a la Pao<sub>2</sub> se puede determinar experimentalmente con seguridad. La Pao<sub>2</sub> así obtenida no es equivalente a la PO<sub>2</sub> existente al final del capilar pulmonar: la mayor o menor

cuantía de mezcla venosa de distintas procedencias modifica la sangre capilar haciéndola aproximarse a la sangre venosa. De aquí que no se pueda utilizar Pao<sub>2</sub> para el enjuiciamiento del gradiente de difusión que, en realidad, está constituido por la diferencia entre PAO<sub>2</sub> y presión capilar media, Pco<sub>2</sub>. Esta última se obtiene, a su vez, por la integración de la línea que traduce la oxigenación progresiva de la sangre venosa en su trayecto por el capilar pulmonar. El punto inicial de esta línea lo constituye la presión de O<sub>2</sub> en sangre venosa mixta, Pvo<sub>2</sub>, que puede obtenerse experimentalmente. El punto final corresponde a la presión de O<sub>2</sub> al final del capilar Pco<sub>2</sub>. La integración de la línea trazada entre estos dos puntos con el procedimiento de BOHR modificado por RILEY y COURNAND<sup>4</sup> (véase también COMROE y cols., pág. 198 y sigs.) da la presión capilar media Pco<sub>2</sub>. Esta presión media sumada al gradiente entre PAO<sub>2</sub> y Pco<sub>2</sub> da el gradiente de difusión que sirve para determinar la cuantía de difusión si se conoce el consumo de O<sub>2</sub> por minuto,  $\dot{V}O_2$ , mediante la fórmula

$$DO_2 = \frac{\dot{V}O_2}{\text{grad. } PAO_2 - Pco_2}$$

Para la determinación de Pco<sub>2</sub> sólo se dispone hasta ahora del método de LILIENTHAL, RILEY, PROEMMEL y FRANKE<sup>5</sup>, que introdujeron la técnica de los dos niveles de oxigenación para diferenciar los dos componentes del gradiente A-a. Este gradiente está constituido por un componente de membrana y otro de mezcla venosa. El primero corresponde a la diferencia de PO<sub>2</sub> existente entre el alvéolo y el final del capilar; traduce la resistencia que ofrece la membrana fisiológica<sup>6</sup> al paso del oxígeno. El segundo, diferencia entre Pco<sub>2</sub> y Pao<sub>2</sub>, está determinado por la cuantía de sangre venosa que se ha mezclado a la que ya pasó por los capilares pulmonares; su origen se encuentra en la sangre que discurre a través de shunts arteriovenosos pulmonares, la procedente de venas de distintos territorios (bronquiales, venas de Tebesio), así como la que pasó por zonas de pulmón no ventiladas. Esta sangre no—o incompletamente—arterializada impurifica la sangre de capilares pulmonares de zonas bien ventiladas.

No es preciso describir la técnica de LILIENTHAL y cols., pues ha alcanzado gran difusión. El método, perfectamente lógico en sus fundamentos, no es fácilmente asequible. RILEY y COURNAND, y los mismos con DONALD, lo han adaptado a la clínica de procesos respiratorios facilitando su empleo con gráficas preparadas de antemano<sup>4</sup> y<sup>6</sup>. Con todo, es técnica que lleva mucho tiempo.

(\*) Con una beca de la Fundación March.

## ABREVIATURAS

Presiones gaseosas		Concentraciones gaseosas (contenido en volúmenes por 100)	
PA	= presión alveolar	Ca	= conc. en sangre arterial
PAO <sub>2</sub>	= " " de O <sub>2</sub>	CaO <sub>2</sub>	= " " " de O <sub>2</sub>
PACO <sub>2</sub>	= " " de CO <sub>2</sub>	CaCO <sub>2</sub>	= " " " de CO <sub>2</sub>
Pa	= Pres. en arteria	Cv	= conc. en sangre venosa mixta
PaO <sub>2</sub>	= " " de O <sub>2</sub>	CvO <sub>2</sub>	= " " " " de O <sub>2</sub>
PACO <sub>2</sub>	= " " de CO <sub>2</sub>	CvCO <sub>2</sub>	= " " " " de CO <sub>2</sub>
Pv	= pres. en sangre venosa mixta	Cc	= conc. en capilar pulmonar
PvO <sub>2</sub>	= " " de O <sub>2</sub>	Cc	= " al final del capilar
PvCO <sub>2</sub>	= " " de CO <sub>2</sub>	CcO <sub>2</sub>	= ídem ídem en O <sub>2</sub>
Pc	= presión en capilar pulmonar	CcCO <sub>2</sub>	= ídem ídem en CO <sub>2</sub>
Pc	= " al final del capilar		
PcO <sub>2</sub>	= ídem ídem de O <sub>2</sub>		
PcCO <sub>2</sub>	= ídem ídem de CO <sub>2</sub>		
Pc	= presión media en el capilar		

Saturación con O<sub>2</sub> por 100

Sa	= Saturación en sangre arterial
Sv	= " " venosa mixta
Sc	= " " de capilar pulmonar
Sé	= " " al final del capilar

$$\text{Difusión de oxígeno} = \text{Do}_2 = \frac{\dot{V}\text{O}_2}{\text{PAO}_2 - \text{PCO}_2}$$

## TÉCNICA PERSONAL.

En observaciones personales llevadas a cabo en pacientes afectos de procesos respiratorios crónicos (bronquitis, enfisema, cor pulmonale), habíamos observado nosotros que la aplicación del método de Fick para la determinación del "cardiac output" no daba resultados coincidentes cuando se utilizaba la diferencia arteriovenosa de O<sub>2</sub> en volúmenes por 100 y el consumo de O<sub>2</sub> por minuto—que es lo que se hace habitualmente—con los obtenidos cuando se utilizaba la diferencia arteriovenosa de CO<sub>2</sub> en volúmenes por 100 y el CO<sub>2</sub> espirado.

Es evidente que en el cálculo del cardiac output utilizando la diferencia a-v de O<sub>2</sub> y el consumo de O<sub>2</sub> los resultados deben ser correctos, puesto que, en este caso, intervienen valores no influidos por ninguna circunstancia pulmonar. ¿Qué es lo que determina la disparidad cuando se hace el cálculo tomando la diferencia arte-

rioventosa de CO<sub>2</sub> y la eliminación de CO<sub>2</sub> por minuto como base?

En alguno de los casos estudiados por nosotros vimos que la concentración de CO<sub>2</sub> en arteria y en sangre venosa mixta obtenida por cateterismo *era casi la misma*. La causa de este hecho no podía ser otra que la mezcla venosa. Las diferencias entre los valores de cardiac output obtenidos con O<sub>2</sub> y con CO<sub>2</sub> tendrían, pues, su explicación en la inutilizabilidad de los valores de CO<sub>2</sub> arterial por la mezcla a ésta de sangre venosa en el pulmón.

Con esta reflexión nos pareció que podríamos tener en la mano un recurso para determinar la cuantía de la mezcla venosa y, consiguientemente, la concentración de CO<sub>2</sub> al final del capilar. Para la deducción de la cuantía de mezcla venosa partimos de la siguiente reflexión. De la misma manera que se acepta la existencia de un R. Q. para la fase gaseosa del pulmón como un todo, aunque el recambio gaseoso no sea uniforme en

las distintas zonas de los pulmones, se acepta también que, en la fase sanguínea, existe un R. Q. (del mismo valor que para la fase gaseosa) para los pulmones como un todo, aunque en distintas zonas de la circulación pulmonar pueda haber también distintos R. Q. parciales.

Si R. Q. es el mismo para la fase gaseosa y sanguínea podemos establecer la ecuación

$$\frac{\text{diferencia arteriovenosa de CO}_2 \text{ en vol. \%}}{\text{diferencia arteriovenosa de O}_2 \text{ en vol. \%}} = \text{R. Q.} \quad [1]$$

Si multiplicamos el denominador de la fracción anterior por R. Q. tenemos el valor *que debería tener* el numerador. Si no se ha producido mezcla venosa, este valor coincidirá con el encontrado experimentalmente y las concentraciones gaseosas en la arteria serán las mismas que las que existen en el capilar. Si no es así, ello es debido a que ha tenido lugar una mezcla venosa cuya cuantía hemos de obtener por aproximaciones sucesivas que nos lleven a determinar exactamente las concentraciones de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> al final del capilar.

La diferencia arteriovenosa de CO<sub>2</sub> obtenida con el cálculo anterior, restada de la concentración de CO<sub>2</sub> en volúmenes por 100 en sangre venosa mixta (CvCO<sub>2</sub>), nos dará la concentración de CO<sub>2</sub> *que debería haber* en la sangre arterial (Caco<sub>2</sub>) si no se hubiera producido mezcla venosa. Ahora bien, el valor así obtenido no puede equipararse al que existe al final del capilar (Ccco<sub>2</sub>), puesto que en la arteria *existe* mezcla venosa. Con todo, podemos aceptar provisionalmente que Caco = Ccco<sub>2</sub>, y entonces podemos aplicar la fórmula del shunt para CO<sub>2</sub>, lo cual nos dará la cuantía de mezcla venosa *en la arteria*.

Dando por supuesto que la cuantía de mezcla venosa debe ser la misma para CO<sub>2</sub> que para O<sub>2</sub>, podemos aplicar el porcentaje de mezcla venosa a la diferencia arteriovenosa de O<sub>2</sub>. El valor obtenido, sumado al contenido en O<sub>2</sub> de sangre arterial, Cao<sub>2</sub>, dará un valor que podría ser el del final del capilar, Ccco<sub>2</sub>, si al determinar el R. Q. de la sangre capilar con los datos obtenidos de diferencia de concentración entre sangres venosa mixta y capilar, el R. Q. coincidiese con el determinado experimentalmente en la fase gaseosa. Si esto no es así, calcularemos el valor que debería tener la diferencia veno-capilar a partir de la ecuación

$$\frac{\text{diferencia veno-capilar de CO}_2}{\text{diferencia capilar-venosa de O}_2} = \text{R. Q.} \quad [II]$$

a cuyo lado izquierdo se expresa el R. Q. (CO<sub>2</sub> eliminado : O<sub>2</sub> absorbido) al final del capilar y según la cual

$$\text{dif. veno-capilar de CO}_2 = \text{dif. capilar-venosa de O}_2 \times \text{R. Q.}$$

Restando de CvCO<sub>2</sub> la diferencia de CO<sub>2</sub> encontrada, tendremos un nuevo valor de Ccco<sub>2</sub>

que se aproximará más al valor real o que coincidirá con él. Este nuevo valor de Ccco<sub>2</sub> nos obliga a rectificar el cálculo de cuantía de mezcla venosa para CO<sub>2</sub> con la fórmula del shunt. Con el nuevo porcentaje de mezcla venosa, calcularemos otra vez Ccco<sub>2</sub> como se hizo anteriormente, comprobando si la diferencia capilar-venosa de O<sub>2</sub> multiplicada por el valor de R. Q. da una diferencia veno-capilar de CO<sub>2</sub> que satisfaga la ecuación II. Si no es así, daremos a Ccco<sub>2</sub> el nuevo valor que le corresponde, restando de CvCO<sub>2</sub> la diferencia veno-capilar de CO<sub>2</sub> y seguiremos los pasos ya indicados anteriormente hasta encontrar valores que serán ya los de Ccco<sub>2</sub> y Ccco<sub>2</sub> cuando la diferencia con las concentraciones respectivas en sangre venosa mixta corresponda a la obtenida con la ecuación II. Habitualmente son precisas cuatro o cinco operaciones de aproximación hasta encontrar los valores correctos de final de capilar.

Tenemos así, por un lado, el valor de Ccco<sub>2</sub> que, conociendo la capacidad total de O<sub>2</sub> de la sangre, nos permite obtener la saturación al final del capilar y, consiguientemente, Pcco<sub>2</sub> a partir de la curva de disociación de hemoglobina. Claro es que para ello debemos utilizar una curva segura, es decir, la correspondiente al enfermo mismo, y por tanto es necesario determinar el pH de sangre arterial. Después veremos que es también conveniente determinar el pH de sangre venosa mixta. La Pcco<sub>2</sub> así obtenida permite, por una parte, tener el punto final de la curva de oxigenación progresiva de sangre venosa mixta y, por otra, calcular mediante una simple resta el valor del componente de membrana Pao — Pcco<sub>2</sub>. El componente de mezcla venosa se obtiene restando de Pcco<sub>2</sub> el valor de Pao<sub>2</sub>.

Tenemos así los datos que es preciso poseer para manejar las gráficas ya calculadas de RILEY y CORNAND con las que se puede obtener el gradiente de difusión Pao<sub>2</sub> — Pcco<sub>2</sub> (presión alveolar-presión capilar media) con cuyo dato podemos calcular la cuantía de difusión, Do<sub>2</sub>.

Si no se dispone de estas gráficas debe procederse a obtener la presión capilar media Pcco<sub>2</sub> con el método de integración de BOHR modificado por RILEY y CURNAND. Es por ello por lo que conviene, aunque no es imprescindible, determinar también el pH de sangre venosa mixta para tener un punto exacto de Pvo<sub>2</sub>. Esto se puede obviar descontando 2 mm. de la presión de O<sub>2</sub> que corresponde—en la curva de disociación de pH igual al encontrado en el sujeto de experiencia—a la saturación de sangre venosa mixta. La presión media obtenida por integración, sumada al componente de membrana, da el gradiente de difusión, que es el que se obtiene con las gráficas de los mencionados autores.

Nuestra técnica permite obtener, como hemos dicho, un valor seguro de concentración de CO<sub>2</sub> al final del capilar en volúmenes por 100



( $\bar{C}cCO_2$ ). Con él podemos calcular  $\bar{P}cCO_2$  de una de estas dos maneras: o trazando la curva de disociación de  $CO_2$  del propio paciente o utilizando un nomograma de interrelación de valores de análisis de gases como, por ejemplo, el de DILL, EDWARDS y CONSOLAZIO modificado por RAHN y FENN<sup>7</sup>.

Sabiendo que la curva de disociación de  $CO_2$  en la zona fisiológica se transforma en una recta si se utiliza para inscribirla papel de doble escala logarítmica, inscribimos en una gráfica de este papel los puntos correspondientes a los pares de valores  $Paco_2$ ,  $Caco_2$  y  $P\bar{v}CO_2$ ,  $\bar{C}vCO_2$ , respectivamente (ordenadas = concentración; abscisas = presión). Uniendo estos dos puntos con una recta, y prolongando ésta suficientemente, marcaremos sobre ella el punto correspondiente a  $\bar{C}cCO_2$ . La ordenada correspondiente marca  $\bar{P}cCO_2$ . Si los dos puntos obtenidos están muy próximos, la línea que los une puede desplazarse de su verdadera dirección determinando un valor erróneo de  $\bar{P}cCO_2$ . En este caso —e igualmente si se carece de papel log-log— es preferible obtener en una tabla los logaritmos correspondientes a las concentraciones de  $CO_2$  en sangre venosa mixta, arterial y capilar y de las presiones en sangre arterial y venosa mixta que conocemos, quedando como incógnita  $\bar{P}cCO_2$ , y establecer con ellos una proporción:

$$\frac{\log P\bar{v} - \log Pa}{\log P\bar{v} - \log Pc} = \frac{\log \bar{C}v - \log Ca}{\log \bar{C}v - \log Cc}$$

y de aquí

$$\log P\bar{v} - \log Pc = \frac{\log P\bar{v} - \log Pa \cdot \log \bar{C}v - \log Cc}{\log \bar{C}v - \log Ca}$$

El valor resultante, restado de log de  $P\bar{v}$ , da el logaritmo de  $\bar{P}cCO_2$  cuyo antilogaritmo es la presión de  $CO_2$  del capilar.

El nomograma de interrelación (figura) es igualmente útil si los valores obtenidos experimentalmente coinciden con los datos del mismo. Entonces se puede determinar la presión de  $CO_2$  al final del capilar utilizando las escalas de ambos extremos (concentración de  $CO_2$  a la izquierda y saturación porcentual de Hbg. a la derecha); uniendo los puntos de concentración de  $CO_2$  y de saturación de la sangre del final del capilar, tenemos en la escala correspondiente la presión de  $CO_2$  al final del capilar.

La posibilidad de obtener  $\bar{P}cCO_2$  con seguridad representa una ventaja importante de nuestro método, pues así es posible operar desde el principio con un valor seguro de  $PACO_2$  para los distintos cálculos en los que, hasta ahora, se utilizaba  $Paco_2$ , dando por supuesto que  $PACO_2 = Paco_2$ , lo que dista mucho de ser cierto cuando la mezcla venosa es de cierta cuantía. Este error se evita si, en lugar de  $Paco_2$ , se utiliza  $\bar{P}cCO_2$ , pues la identidad  $PACO_2 = \bar{P}cCO_2$  es un hecho incontrovertible a causa de la rápida difusión de  $CO_2$  en el alvéolo. Este valor de  $PACO_2$

puede utilizarse desde un principio para determinar  $PAO_2$  con la ecuación del aire alveolar sin necesidad de rectificar ulteriormente los cálculos como es preciso hacer en la técnica de Riley y Cournand, en la que, una vez determinada la cuantía de mezcla venosa, debe rectificarse el valor de  $PACO_2$  que se asumió equivalente a  $PACO_2$ .

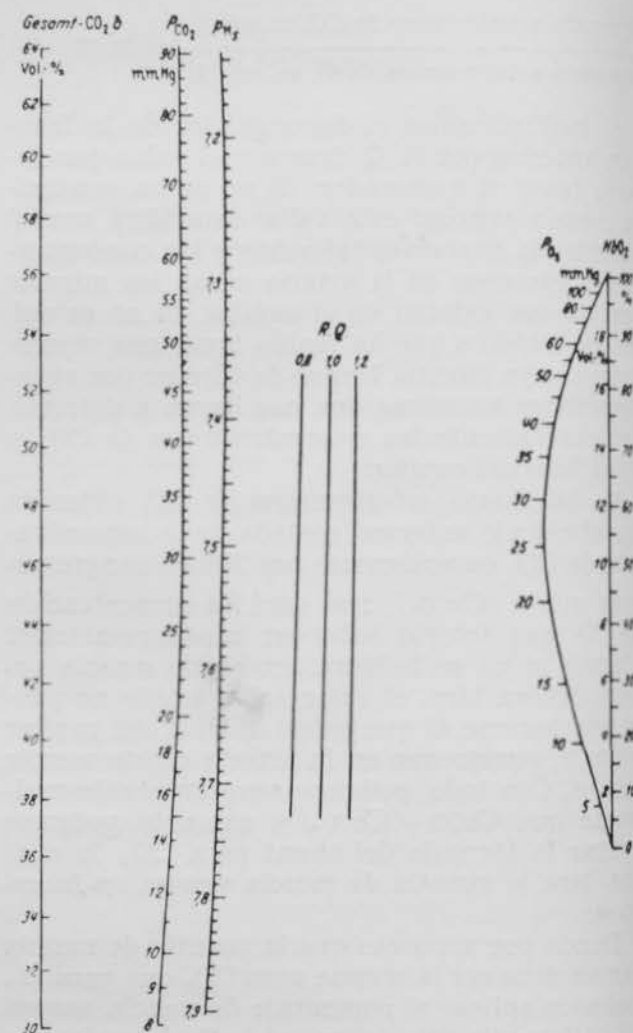


Fig. 1.—Nomograma de la sangre humana a nivel del mar. Interrelación de valores de análisis de gases en sangre (v. 7).

Con este valor de  $PACO_2$  tenemos también un valor más seguro si queremos determinar ventilación alveolar y espacio muerto respiratorio fisiológico para los que, habitualmente, se utiliza el dato de  $Paco_2$  obtenido experimentalmente, como equivalente a  $PACO_2$ .

Un ejemplo de nuestra casuística aclarará todo lo anterior. El enfermo P. R. R. presentaba los siguientes datos analíticos:

	Sangre arterial	Sangre venosa mixta
Vol. O <sub>2</sub> %	24,1	19,7
Capacidad total	29,0	29,0
Vol. CO <sub>2</sub> %	53,0	55,0
PO <sub>2</sub> en mm. Hg.	49	37
PCO <sub>2</sub> en mm. Hg.	48	50,5
Dif. a.-v. de O <sub>2</sub> en vol. %	4,4	
Dif. a.-v. de CO <sub>2</sub> en vol. %	2,0	
R. Q. en la fase gaseosa	0,9	
PAO <sub>2</sub> (ecuación aire alveolar) en mm. Hg.	79,7	

Según la ecuación I, el cálculo daría para el numerador un valor de 3,96 ( $4,4 \times 0,9$ ), que es la diferencia de CO<sub>2</sub> entre sangre venosa mixta y sangre arterial *que debería haber* en lugar de la de 2 que encontramos experimentalmente.

Restando de C<sub>v</sub>CO<sub>2</sub> la diferencia obtenida en el cálculo (55,0-3,96), vemos que en la arteria *debería haber* 51,04 vol. por 100 en lugar de los 53,0 encontrados. Aceptando provisionalmente este valor como concentración de CO<sub>2</sub> en el capilar—lo que ya dijimos que no es cierto—, tenemos los datos necesarios para aplicar la fórmula del shunt utilizando los valores respectivos en volúmenes por 100. La fórmula en cuestión es la siguiente:

$$Q_{\text{SCO}_2} \% = \frac{C_{\text{aCO}_2} - C_{\text{cCO}_2}}{C_{\text{vCO}_2} - C_{\text{cCO}_2}} \times 100 (*)$$

Sustituyendo en esta fórmula los valores encontrados en nuestro caso tenemos

$$Q_{\text{SCO}_2} \% = \frac{53,0 - 51,0}{55,0 - 51,0} \times 100 = \frac{2}{4} \times 100 = 50 \%$$

Tendríamos, pues, que la cuantía del shunt para CO<sub>2</sub> es, por lo menos, del 50 por 100 del flujo pulmonar total. Asumiendo que la mezcla venosa debe ser la misma para O<sub>2</sub> que para CO<sub>2</sub>, tendríamos que el 50 por 100 de la diferencia arteriovenosa de O<sub>2</sub> es 2,2 ( $4,4 \times 0,5$ ). Sumando estos 2,2 volúmenes a C<sub>a</sub>O<sub>2</sub> tendríamos  $24,1 + 2,2 = 26,3$  volúmenes de O<sub>2</sub> por 100 como la cantidad que podría corresponder a C<sub>c</sub>O<sub>2</sub>.

Ahora debemos comprobar si este valor es correcto. Si lo fuese, el cociente de la diferencia vena-capilar de CO<sub>2</sub> y capilar-venosa de O<sub>2</sub> satisfaría el R. Q. La diferencia capilar-venosa de O<sub>2</sub> es de 6,6 (26,3 - 19,7). Según la ecuación II

$$\text{numerador} = 6,6 \times 0,9 = 5,94.$$

Restando este valor de C<sub>v</sub>CO<sub>2</sub> (55,0 - 5,94) tenemos 49,04, que es el CO<sub>2</sub> que podría haber en capilar. Como esto se halla en diferencia con los 51,04 volúmenes de arteria, tenemos que

(\*) Deducción de Q<sub>s</sub> para CO<sub>2</sub>.

$$\text{vol. CO}_2 \text{ en sangre} = C_{\text{CO}_2} \times \dot{Q}$$

$$C_{\text{aCO}_2} \cdot \dot{Q} = C_{\text{cCO}_2} \cdot \dot{Q}_{\text{c}} + C_{\text{vCO}_2} \cdot \dot{Q}_{\text{s}}$$

$$\dot{Q}_{\text{c}} = \dot{Q} - \dot{Q}_{\text{s}}$$

$$C_{\text{aCO}_2} \cdot \dot{Q} = C_{\text{cCO}_2} \cdot \dot{Q} - C_{\text{cCO}_2} \cdot \dot{Q}_{\text{s}} + C_{\text{vCO}_2} \cdot \dot{Q}_{\text{s}}$$

$$(C_{\text{aCO}_2} - C_{\text{cCO}_2}) \cdot \dot{Q} = (-C_{\text{cCO}_2} + C_{\text{vCO}_2}) \cdot \dot{Q}_{\text{s}}$$

$$Q_{\text{s}} = \frac{C_{\text{aCO}_2} - C_{\text{cCO}_2}}{-C_{\text{cCO}_2} + C_{\text{vCO}_2}} \cdot \dot{Q}$$

calcular de nuevo el shunt para el nuevo valor probable de C<sub>c</sub>CO<sub>2</sub>. La fórmula I da ahora

$$Q_{\text{SCO}_2} \% = \frac{53,0 - 49,04}{55,0 - 49,04} \times 100 = \frac{3,96}{5,96} \times 100 = 66 \%$$

en vez del 50 por 100 que existía en la sangre arterial.

Repitiendo los cálculos de mezcla venosa para O<sub>2</sub> con el nuevo valor tenemos  $4,4 \times 0,66 = 2,9$ , que sumados a C<sub>a</sub>O<sub>2</sub> dan 27,0 (24,1 + 2,9) para C<sub>c</sub>O<sub>2</sub>. La comprobación de las diferencias veno-capilares ( $\Delta C_{\text{CO}_2} - C_{\text{vO}_2} = 27,0 - 19,7 = 7,3$ ) con la ecuación II da

$$\text{numerador} = 7,3 \times 0,9 = 6,57$$

lo que supone para C<sub>c</sub>CO<sub>2</sub> 48,43 vol. por 100 (55,0 - 6,57). Este nuevo valor al final del capilar da una cuantía de shunt de

$$Q_{\text{SCO}_2} \% = \frac{53,0 - 48,43}{55,0 - 48,43} \times 100 = \frac{4,57}{6,57} \times 100 = 69 \%$$

El nuevo valor de mezcla venosa da, para O<sub>2</sub>, 3,03 ( $4,4 \times 0,69$ ), que sumados a C<sub>a</sub>O<sub>2</sub> dan 27,1 (24,1 + 3,03) y comprobando las diferencias veno-capilares con la ecuación II ( $C_{\text{cO}_2} - C_{\text{vO}_2} = 27,1 - 19,7 = 7,3$ )

$$\text{numerador} = 7,3 \times 0,9 = 6,57$$

encontramos una diferencia idéntica a la anteriormente obtenida, indicando que hemos llegado al resultado final con valores de C<sub>c</sub>O<sub>2</sub> de 27,1 vol. % y C<sub>c</sub>CO<sub>2</sub> de 48,43 vol. %.

En este momento es preciso aclarar un hecho importante: aunque la cuantía de mezcla venosa debe ser la misma para CO<sub>2</sub> que para O<sub>2</sub>, la expresión cuantitativa de cada una de ellas es distinta. Ello se debe a que el porcentaje de mezcla de CO<sub>2</sub>, obtenido con la correspondiente ecuación de shunt, determina un valor diferente en el numerador de la ecuación del shunt para O<sub>2</sub>. Esto se encuentra, seguramente, en relación con el hecho de que la sangre venosa que impurifica la sangre capilar procede de zonas pulmonares con distintas relaciones ventilación-perfusión. Sin embargo, es posible establecer una relación que permite calcular la cuantía de shunt para O<sub>2</sub> y a la inversa:

$$\begin{aligned} Q_{\text{SCO}_2} &= \frac{a_{\text{CO}_2} - c_{\text{CO}_2}}{v_{\text{CO}_2} - c_{\text{CO}_2}} = \frac{a_{\text{CO}_2} - c_{\text{CO}_2} \cdot c_{\text{O}_2} - v_{\text{O}_2}}{c_{\text{O}_2} - a_{\text{O}_2} \cdot v_{\text{CO}_2} - c_{\text{CO}_2}} \\ Q_{\text{SO}_2} &= \frac{c_{\text{O}_2} - a_{\text{O}_2}}{c_{\text{O}_2} - v_{\text{O}_2}} \end{aligned}$$

y de aquí:

$$Q_{\text{SO}_2} = Q_{\text{SCO}_2} \cdot \frac{c_{\text{O}_2} - a_{\text{O}_2}}{a_{\text{CO}_2} - c_{\text{CO}_2}} \cdot \frac{v_{\text{CO}_2} - c_{\text{CO}_2}}{c_{\text{O}_2} - v_{\text{O}_2}}$$

La segunda parte de la ecuación de la derecha es el R. Q. Esta relación nos permite obtener la cuantía de mezcla venosa para  $O_2$  a partir de la de  $CO_2$ , de las diferencias arterio-capilares de  $O_2$  y  $CO_2$  y de R. Q. El resultado obtenido debe ser igual, por supuesto, al que se obtiene con la ecuación del shunt para  $O_2$ , que se expresa así:

$$Q_{SO_2} \% = \frac{C_{CO_2} - C_{AO_2}}{C_{CO_2} - C_{VO_2}} \times 100$$

En nuestro caso,

$$Q_{SO_2} \% = \frac{24,1 - 27,1}{19,7 - 27,1} \times 100 = \frac{3}{7,4} \times 100 = 40,5 \%$$

La diferente expresión cuantitativa del porcentaje de mezcla venosa es importante para la rectificación del valor de  $P_{CO_2}$  con la técnica de Riley y Cournand cuando la mezcla venosa es superior al 20 por 100 del flujo total pulmonar. Estos autores aplican para la corrección el porcentaje de la mezcla venosa de  $O_2$  en vez del de  $CO_2$ , que siempre es mayor.

Es preciso, pues, tener en cuenta esta variación de la cuantía de mezcla venosa según se exprese en términos de  $CO_2$  o de  $O_2$ , sobre todo si queremos establecer una comparación de resultados con la técnica de Riley y Cournand. En el caso que exponemos la cuantía de mezcla venosa con este método dió un resultado de 40 por 100, coincidente con el valor obtenido por nosotros para el  $O_2$ , siendo así que la m. v. para  $CO_2$ —que es la que interesa para corregir el valor de  $P_{AO_2}$ —es de 69 por 100.

Con el valor de  $C_{CO_2}$  encontrado y la capacidad total de  $O_2$ , que conocemos, podemos calcular la saturación al final del capital  $S_{CO_2}$ , que en este caso es de 93,4 por 100 ( $27,1 \times 100 : 29,0$ ), a la que en la curva de disociación de Hbg. de pH = 7,4, corresponde una  $P_{CO_2}$  de 75 mm. La diferencia entre  $P_{CO_2}$  y  $P_{AO_2}$  (componente de mezcla venosa) es en este caso de  $75 - 49 = 26$  mm. Hg.

El gradiente A-a total es de 30,7 mm. ( $P_{AO_2} = 79,7$  mm. calculada con la ecuación del aire alveolar y sin corregir). Descontando los 26 mm. de mezcla venosa quedan 4,7 para el componente de membrana.

Todo lo que resta ahora es determinar el gradiente de difusión, es decir, la diferencia de presión entre alvéolo y presión capilar media  $P_{CO_2}$  o, lo que es lo mismo, la suma del componente de membrana y presión capilar media. Obtenida esta última mediante el procedimiento de integración (saturación porcentual de sangre venosa mixta,  $S_{VO_2}$ , 70 por 100, a lo que corresponde en la curva de disociación de pH = 7,4 un  $P_{O_2}$  de 37 mm.:  $P_{CO_2}$  de 75 mm.), obtenemos 16,2 mm. Este valor de presión media sumado al componente de membrana da el gradiente de difusión ( $16,2 + 4,7 = 20,9$ ).

Las gráficas ya preparadas por RILEY, COUR-

NAND y DONALD facilitan esta etapa final eligiendo la gráfica adecuada a la diferencia de saturación  $S_{CO_2} - S_{VO_2}$ . En nuestro caso esta diferencia era de 23,4 ( $93,4 - 70$ ). En la gráfica correspondiente a 25 de diferencia de saturación se obtiene la isopleta de 22 mm. En la correspondiente a diferencia de saturación de 20 se obtiene la isopleta de 20 mm. La media entre los dos valores obtenidos es de 21 mm., es decir, prácticamente igual a la obtenida anteriormente después de calcular la  $P_{CO_2}$  por integración.

Como el consumo de  $O_2$  era de 240 c. c. por minuto, la cuantía de difusión de  $O_2$ ,  $Do_2 =$

$$= \frac{\dot{V}_{O_2}}{\text{grad. dif.}} \text{ es de } 240 : 21 = 11,4 \text{ c. c. min./mm.}$$

Como se ve, el método expuesto permite calcular con rapidez los componentes del gradiente A-a una vez realizadas las determinaciones de contenido y presión de gases en sangres arterial y venosa mixta, pH de ambas o al menos de la arterial, composición de aire espirado, consumo de  $O_2$ , etc., como se realizan habitualmente. Con él no es preciso recurrir a los dos niveles de oxigenación y se elimina el enojoso ensayo y error del método de Riley y Cournand. Es también posible suprimir el tiempo de espera necesario para obtener un steady state con las mezclas de distinto contenido de  $O_2$ , lo cual es importante cuando se trata de estudiar la acción de ciertos fármacos sobre los componentes del gradiente. Es también más sencillo que el método de CO de KROGH, empleado últimamente con frecuencia para la estimación de  $Do_2$ .

En cuanto a la posibilidad de obtener un valor correcto de  $P_{ACO_2}$  desde el principio es también de gran importancia, como se puede ver en el mismo caso que hemos tomado de ejemplo. La  $P_{CO_2}$  en este caso, deducida del nomograma de gases, era de 40 mm. (48,4 vol. por 100 de  $CO_2$  y saturación de capilar de 93,4 por 100). Siendo la  $P_{ACO_2}$  de 48 mm., compréndese sin más la importancia del error que se derivaría de tomar la  $P_{ACO_2}$  como equivalente de  $P_{ACO_2}$  en lugar de tomar, como es lógico, la  $P_{CO_2}$ , cuya determinación se posibilita, por primera vez, con la técnica descrita.

#### RESUMEN.

Se describe un método original con el que, sobre la base de la identidad de R. Q. (cociente respiratorio) en las fases hemática y gaseosa del pulmón como un todo, es posible determinar la cuantía de la mezcla venosa en la sangre arterial periférica. A partir de ella, y mediante 4-5 operaciones de aproximación, se obtienen con seguridad las concentraciones de  $CO_2$  y  $O_2$  al final del capilar pulmonar en volúmenes por 100.

Al conocerse la concentración de  $O_2$  al final



del capilar se puede determinar saturación de hemoglobina y de ésta deducir la presión de O<sub>2</sub> al final del capilar. Este dato permite obtener el componente de membrana (diferencia de presiones de O<sub>2</sub> entre alveolo y final de capilar) y el de mezcla venosa (diferencia de presiones de O<sub>2</sub> entre final de capilar y arteria) en el gradiente total alvéolo-arterial.

Conocido el componente de membrana se puede obtener el gradiente de difusión de O<sub>2</sub> sumando a aquél la presión capilar media de O<sub>2</sub>, obtenida por integración, o bien utilizando las gráficas ya preparadas por RILEY y COUNAND. Si se sabe el consumo de O<sub>2</sub> por minuto, se puede determinar la cuantía de difusión de O<sub>2</sub>.

La posibilidad de obtener un valor seguro de concentración de CO<sub>2</sub> al final del capilar no existía hasta ahora. Este dato permite operar desde el principio con un valor correcto de presión alveolar de CO<sub>2</sub>, que es idéntica a la presión capilar de CO<sub>2</sub> a causa de la rápida difusión de este gas en el alvéolo. Así se pueden calcular: a) Presión alveolar de O<sub>2</sub> con la ecuación del aire alveolar. b) Ventilación alveolar; y c) Espacio muerto fisiológico. Para estos cálculos se partía, antes de ahora, de la base de que la presión alveolar de CO<sub>2</sub> era igual a la presión de CO<sub>2</sub> en sangre arterial. Con un ejemplo se pone de relieve la cuantía del error que puede cometerse con esta hipótesis.

in alveolus and at end of capillary) and the venous admixture component (difference between O<sub>2</sub> pressures at the end of capillary and in artery) to be determined in the total alveolar-arterial gradient.

Once the membrane component is known, the diffusion gradient may be obtained by adding mean capillary pressure of O<sub>2</sub>, obtained by integration, to that value, or from the graphs prepared by Riley and Cournand. If O<sub>2</sub> consumption per minute is known, the amount of O<sub>2</sub> diffusion may be determined.

The possibility of obtaining a safe value of CO<sub>2</sub> tension at the end of the capillary was hitherto unknown. This datum enables one to perform calculations which, from the beginning, are based on a correct value for alveolar pressure of CO<sub>2</sub>, which is identical with capillary pressure of CO<sub>2</sub> owing to the rapid diffusion of this gas in the alveolus. By this means the following values may be determined: a) Alveolar pressure of O<sub>2</sub>, with the alveolar air equation. b) Alveolar ventilation. c) Physiological dead space. These calculations previously started from the basis that alveolar pressure of CO<sub>2</sub> was the same as CO<sub>2</sub> pressure in arterial blood. The margin of error to which such hypothesis may give rise is illustrated with the aid of an example.

#### BIBLIOGRAFIA

1. COMROE, J. H. JR.; R. E. FORSTER; A. B. DUBOIS; W. A. BRISCOE y E. CARLSEN.—The Lung. (Year book publ., 1955.)
2. RILEY, R. L. y A. COUNAND.—J. Appl. Physiol., 1, 825, 1949.
3. FENN, W. O.; H. RAHN y A. B. OTIS.—Am. J. Physiol., 146, 637, 1946.
4. RILEY, R. L. y A. COUNAND.—J. Appl. Physiol., 4, 77, 1950.
5. LILIENTHAL, J. L.; R. L. RILEY; D. D. PROEMMEL y R. E. FRANK.—Am. J. Physiol., 147, 199, 1946.
6. RILEY, R. L.; A. COUNAND y K. W. DONALD.—J. Appl. Physiol., 4, 102, 1951.
7. EN OPITZ, E. y H. BARTELS.—"Gasanalyse" en Hndb. der Physiologisch- und Pathologisch-chemischen Analyse. Hoppe-Seyler / Thierfelder. 2er Band. Springer, 10 Aufl., 1955, pag. 289.

#### SUMMARY

An original technique is described by means of which it is possible to determine the amount of venous admixture in peripheral arterial blood on the basis of R. Q. (respiratory quotient) values in the haematic and gaseous phases of the lung as a whole. From such data, and after 3-4 approximation operation, the CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> tensions at the end of pulmonary capillaries are safely obtained in volumes per 100.

Once the O<sub>2</sub> tension at the end of the capillary is known, it is possible to determine haemoglobin saturation from which the O<sub>2</sub> pressure at the end of the capillary may in turn be deduced. This datum enables the membrane component (difference between O<sub>2</sub> pressures

#### ZUSAMMENFASSUNG

Es wird eine neuartige Methode beschrieben, welche ermöglicht, mittels Feststellung der respiratorischen Quotienten der hämatischen und gasösen Phase der Lunge als Ganzes, die Grösse der venösen Mischung im arteriellen Blut der Peripherie zu bestimmen. Von dieser ausgehend und unter Ausführung von 3 bis 4 ungefähren Berechnungen erhält man sichere Konzentrierungen von CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> am Ende der Lungenkapillare in Volumen Prozent.

Wenn nun einmal die Konzentrierung von O<sub>2</sub> am Ende der Kapillare bekannt ist, so wird es dann auch möglich die Sättigung an Hämoglobin zu bestimmen und aus dieser den O<sub>2</sub> Druck am Ende des Kapillars zu entnehmen. Aus dieser Angabe gewinnt man dann den Komponenten der Membrane (Unterschied zwischen O<sub>2</sub> Druck in der Alveole und am Kapillarende) und der venösen Mischung (Unterschied zwischen O<sub>2</sub> Druck am Kapillarende und in der Arterie) im Gesamtgradient Alveole-Arterie.

Sobald der Komponent der Membrane bekannt ist, kann dann auch der Diffusionsgradient des O<sub>2</sub> gewonnen werden, indem man entweder den durch Integralrechnung gewonnenen O<sub>2</sub> Kapillardruck dazurechnet, oder die von Riley und Cournand bereits ausgearbeiteten Kurven verwendet. Die Kenntnis des Minutenverbrauches an O<sub>2</sub> gestattet dann die Bestimmung der Grösse der O<sub>2</sub> Diffusion.

Es ist erst jetzt möglich geworden einen si-

cheren Wert für die  $\text{CO}_2$  Konzentrierung am Kapillarende zu gewinnen. Diese Angabe gestattet von Beginn an ein Handhaben mit einem zuverlässigen  $\text{CO}_2$  Druckwert in der Alveole, welcher durch die rasche Verteilung dieses Gases innerhalb derselben dem  $\text{CO}_2$  Druck der Kapillare gleich kommt. Auf diese Weise kann berechnet werden: a)  $\text{O}_2$  Druck in der Alveole mittels Gleichung der Alveolarluft. b) Alveolenlüftung. c) Physiologisch toter Raum. Vorher beruhten diese Berechnungen prinzipiell auf der Annahme, dass der  $\text{CO}_2$  Druck in der Alveole dem  $\text{CO}_2$  Druck im arteriellen Blut gleich wäre. An Hand eines Beispiels wird klar vor Augen geführt, welcher grosser Irrtum dieser Hypothese entwachsen kann.

### RÉSUMÉ

On décrit une technique originale avec laquelle, sur la base de l'identité R. Q. (coefficient respiratoire) dans les phases hématique et gazeuse du poumon comme un tout, il est possible de déterminer la quantité du mélange veineux dans la sang artériel périphérique. A partir de ce mélange, et après 3 ou 4 opérations d'approximation, on obtient avec certitude les concentrations  $\text{CO}_2$  et  $\text{O}_2$  à la fin du capillaire pulmonaire en volumes pour 100.

En connaissant la concentration de  $\text{O}_2$  à la fin des capillaires on peut déterminer la saturation d'hémoglobine et déduire de celle-ci la pression de  $\text{O}_2$  à la fin du capillaire. Ceci permet d'obtenir le composant de membrane (différence de pression de  $\text{O}_2$  entre alvéole et final du capillaire) et celui du mélange veineux (différence de pressions de  $\text{O}_2$  entre la fin du capillaire et artère) dans le gradient total alvéole-artériel.

Une fois le composant de membrane connu on peut obtenir le gradient de diffusion de  $\text{O}_2$  en y ajoutant la pression capillaire moyenne de  $\text{O}_2$ , obtenue par intégration ou bien en utilisant les graphiques déjà préparées par Riley et Courmand. Si on connaît le débit de  $\text{O}_2$  par minute on peut déterminer la quantité de diffusion de  $\text{O}_2$ .

La possibilité d'obtenir une valeur certaine de concentration de  $\text{CO}_2$  à la fin du capillaire n'existait pas jusqu'ici. Actuellement on peut opérer dès le début, avec une valeur correcte de pression alvéolaire de  $\text{CO}_2$  qui est identique à la pression capillaire de  $\text{CO}_2$  à cause de la rapide diffusion de ce gaz dans l'alvéole. On peut donc calculer: a) Pression alvéolaire de  $\text{O}_2$  avec l'équation de l'air alvéolaire. b) Ventilation alvéolaire. c) Espace mort physiologique.

Auparavant, pour ces calculs, on partait de la base de que la pression alvéolaire de  $\text{CO}_2$  était égale à la pression de  $\text{CO}_2$  dans le sang artériel.

Avec un seul exemple on démontre la valeur de l'erreur que l'on peut commettre avec cette hypothèse.

### EVOLUCION ELECTROLITICA DE LA CIRROSIS HEPATICA ASCITOGENA

J. NÚÑEZ CARRIL, M. SALMERÓN, J. M. TORREGROSA, A. SÁNCHEZ AGESTA y E. ORTIZ DE LANÁZURI.

Clinica Universitaria y Departamento del C. S. I. C. Granada.

El enfermo cirrótico ascitótico tiene, por su propia sintomatología ascítica, una grave perturbación de su equilibrio hidroiónico, que se compone de diversos factores: a) De orden general, por su misma alteración cirrótica, que repercute en todos los espacios, tanto vasculares como extra e intracelulares. b) De orden local, peritoneal, por su alteración en la circulación portal e incluso linfática<sup>1</sup>; y c) De orden mixto, ya que ambas circunstancias anteriormente citadas se imbrican en complejas y variables formas que pueden ocasionar los más diversos síndromes de descompensación, como fué señalado por JIMÉNEZ DÍAZ y cols.<sup>2</sup>. Para estos autores, se debería aceptar en la cirrosis hepática (C. H.): ascitis bien tolerada, en un determinado plazo evolutivo, sin manifestaciones de malignidad general (diríamos casos puros o, al menos, clínicamente puros de tipo b) y ascitis mal toleradas y de evolución francamente maligna (diríamos casos de interferencia del tipo a y b). Para estos autores, las formas benignas, "inofensivas", serían las ascitis dinámicas y homeohídricas, y las formas malignas, "letales", serían con grave insuficiencia hepato-renal y poiquilohídricas.

En esencia, la descompensación o alteración hidrosalina de la C. H., que es, en general, consecuencia de factores, en parte humores y en parte mecánicos, se caracteriza principalmente por: primero, aumento de la "masa sodio" (13 mEq/L.); segundo, aumento de "espacio sodio" (100 c. c./kg.) a expensas del líquido extracelular y trascelular (espacio de Na intracelular); tercero, aumento de la "tensión de sodio" (concentración de Na en el agua total), aunque el valor de la sodemia descienda; cuarto, "descenso de los sólidos" no sólo relativo, sino absoluto, pues el peso total del organismo, estudiado comparativamente durante la evolución de la C. H. ascitótica, después de cada sucesiva paracentesis, va descendiendo (cuadro I) (3 a 7).

Esta anormal distribución de los líquidos y sólidos en el enfermo con C. H. se hace patente en el plasma, así como también en el comportamiento de las secreciones y excreciones. Respecto del plasma se produce, habitualmente, un aumento de la volemia con tendencia a la hiposodemia<sup>3</sup>, que, según BLAND<sup>4</sup>, oscila entre 111 y 138 mEq/L., así como una variable composición de los otros iones que, muy esquemáticamente, tienden a la hipercloremia e hiperpotasemia (aunque el propio BLAND opina también frecuentemente la hipopotasemia), así como a