

CARACTERÍSTICAS RESPIRATORIAS DE LOS NATIVOS DE
ALTURA

D DEPARTAMENTO RESPIRATORIO Dr. E. VARGAS.

En ocasión de las conferencias sobre Biología y Adaptación a la altura hemos seguido con interés, una serie de charlas que nos han ido mostrando en forma clara, como el nativo de la altura en el curso del tiempo y a través de generaciones, adapta la fisiología de su organismo a las condiciones que su medio ambiente le ofrece; este proceso de adaptación particularmente estudiado sobre el plan cardio-respiratorio da lugar a modificaciones en algunos parámetros fisiológicos, la importancia de estas variaciones salta a la vista cuando se trata de valorar ciertos datos proporcionados por la clínica y los exámenes funcionales complementarios, datos que deben ser interpretados teniendo en cuenta estos cambios funcionales. Su estudio tendrá tanto o más interés para nosotros considerando el gran porcentaje de nuestra población habitante de altura.

Después de considerar algunos elementos fisiológicos, haré referencia de algunos estudios relacionados con las variantes que sufren los parámetros respiratorios, nos ocuparemos en primer lugar de las variaciones que sufren los volúmenes y capacidades pulmonares, en seguida la presión parcial de los gases alveolares y la difusión alveolo-capilar del O₂, proseguiremos con el transporte del O₂ por la sangre finalizando haremos referencia de algunos trabajos efectuados con el fin de explicar posibles cambios a nivel de la respiración celular en la altura.

La respiración puede ser definida como la función que asegura los intercambios gaseosos entre la célula y el medio exterior. Esta definición elemental se aplica tanto a los seres unicelulares como a los organismos más diferenciados y el hombre. Para los organismos unicelulares la respiración se resume a un fenómeno de difusión a través de la membrana celular, el O₂ penetra en su protoplasma donde es utilizado como fuente de energía en el metabolismo celular proceso que da lugar a la formación de CO₂ que es eliminado al exterior.

En el hombre este proceso de difusión a través de la membrana protoplasmática constituye la última etapa tisular de la respiración. En efecto ella es precedida de otras dos, la etapa pulmonar y la etapa sanguínea. Estas dos etapas aseguran simultáneamente el transporte de O₂ hacia la célula y la eliminación del CO₂ hacia el exterior.

Volúmenes y Capacidades Pulmonares.-

Juega un rol importante en la primera etapa, así bajo el efecto de la contracción de los músculos inspiratorios, de entre los cuales el principal es el diafragma, la caja torácica aumenta de volumen en sus tres diámetros y crea así una caída de la presión intrapulmonar que en este momento se vuelve inferior a la presión atmosférica y de esta manera el alveolo, unidad fisiológica del pulmón, recibe una cierta cantidad de aire, produciéndose un aumento del volumen pulmonar, es la fase inspiratoria o inspiración, a este sucede la fase espiratoria, fenómeno pasivo consecuencia de la relajación de los músculos inspiratorios que de esta forma permiten actuar a la fuerza de retracción ELÁSTICA del parénquima pulmonar, esta fuerza actúa directamente sobre la pared alveolar aumentando considerablemente la presión intralveolar que en conjunto produce una presión intrapulmonar superior a la presión barométrica y de este modo el aire es eliminado hacia el exterior recobrando el pulmón su volumen primitivo y concretando así un CICLO VENTILATORIO tal como se observa en estado de reposo. Pero recordemos que también existe la espiración activa en la cual interviene la musculatura espiratoria formada principalmente por los músculos abdominales: Rectos Oblicuos y transversos del abdomen que aseguran; a) la aceleración del flujo espiratorio como en el caso de un ejercicio muscular. b) completar el vaciado pulmonar o todavía, vencer las resistencias bronquiolares aumentadas como en el caso de algunos procesos patológicos como una crisis asmática.

En

En un trazado de espirometría normal observamos algunos parámetros de entre los cuales las principales son:

El volumen corriente que es la cantidad de aire que es movilizado en un ciclo respiratorio de reposo y que equivale más o menos a un medio litro de aire. Sin embargo si forzamos una inspiración, hacemos penetrar dentro los pulmones una cantidad superior a la del volumen corriente, la diferencia entre estos dos volúmenes se denomina Volumen de Reserva Inspiratoria, en el varón de talla media tiene un valor de 2,5 litros aproximadamente, del mismo modo luego de una espiración normal el sistema torace-pulmonar es capaz de eliminar aún cierta cantidad de aire por medio de una espiración forzada, es el llamado volumen de reserva espiratoria que por término medio alcanza litro y medio.

la suma de estos tres parámetros, es decir del volumen corriente, del volumen de reserva inspiratoria y el volumen de reserva espiratoria constituye la CAPACIDAD VITAL; la capacidad vital puede ser definida como el volumen de aire circulante máximo, o como el volumen eliminado mediante una espiración forzada que es precedida de una inspiración también forzada.

Hasta este punto parecería que el pulmón habría logrado su vaciado extremo, pero no es así pues el pulmón contiene todavía una cierta cantidad de aire, ésta cantidad, cautiva, digamos así, es el volumen RESIDUAL, el valor normal de este volumen es de litro y medio a dos litros. El volumen residual no puede ser asimilado al volumen alveolar ni mucho menos al volumen alveolar funcional pues se encuentra formada por el espacio muerto, es decir por la traquea los bronquios y bronquiolos donde no se realiza ningún cambio gaseoso, además el WR está formado también por los alveolos pero cabe hacer la diferencia de que cuando se mide el VR se mide incluso el volumen de aire contenido dentro de algunos alveolos que no reciben ninguna perfusión pero que pueden estar ventilados.

LA CAPACIDAD PULMONAR TOTAL está formada por la suma de la capacidad vital real y el volumen residual, existen además una serie de porcentajes que están llevados a comparación con la capacidad vital total.

Cuando nos ocuparemos más adelante de las variaciones que sufren estos diferentes volúmenes en la altura veremos que tiene particular importancia para nosotros la relación entre el volumen residual y la capacidad pulmonar total.

(VR/CPT= 22%) La capacidad residual funcional suma del volumen residual y el volumen de reserva espiratoria tiene su importancia cuando se realiza la medida del volumen residual, porque los métodos que miden este volumen en realidad lo que miden es la CRF de la cual se deduce posteriormente el VR restándole el volumen de reserva espiratoria.

La capacidad vital así como la capacidad pulmonar total son susceptibles de variaciones en más o en menos de acuerdo a diversos procesos patológicos; normalmente y esto es lo más importante cuando se trata de hacer una valoración precisa, los débitos pulmonares así como las capacidades varían, a veces ampliamente, de un sujeto a otro, en estas diferencias juegan un rol principal la edad, el sexo y la morfología o talla del sujeto, la valoración final deberá entonces ser llevada a cabo teniendo en cuenta estas razones.

La capacidad vital.— Puede estar modificada de una manera significativa cuando la movilidad toraco-diafragmática está alterada como en el caso de una parálisis del frénico, una rigidez parenquimatosa pulmonar, un ensanchamiento pleural o de la pared torácica; cuando la cantidad de parenquima funcional está disminuida cual es el caso de una obstrucción bronquial, de una condensación pulmonar masiva, de una colección intratorácica y lógicamente después de una exéresis quirúrgica.

Alguna vez se observa lo contrario, los valores sobrepasan la normalidad, esto sucede cuando la expansión torácica está aumentada, este aumento está favorecido, fuera de las particularidades raciales, por el entrenamiento deportivo pero por el contrario el aumento de la CPT se observa rara vez en el sujeto enfermo aún si en él existe un síndrome enfisematoso importante.

Ahora bien cual es el estado de cosas cuando se habla de las variaciones de los diferentes volúmenes y capacidades en la altura y a este respecto los criterios están un po-

co dispersos:

- a).- Porque los estudios fueron realizados a diferentes alturas.
- b) Por diferencias en los métodos utilizados
- c).- Por el número de sujetos estudiados.

Un hecho parece real y es el aumento en algunos parámetros. Así según los estudios hechos por Hurtado en el Perú existe una diferencia considerable cuando se comparan valores espirométricos en porcentaje entre los nativos de altura y del nivel del mar, estas observaciones hechas en Morococha (4540 mts.) han permitido establecer que el parámetro que más variaciones sufre es el volumen residual siguiéndole en orden de importancia la capacidad residual funcional. Esto quiere decir que en la altura existiría un parénquima pulmonar más dilatado que al nivel del mar, la interpretación de esta expansión pulmonar aumentada sugiere algunas hipótesis. Puede tratarse de un fenómeno de adaptación propio de la altura?

Es un factor racial en relación con la morfología de los individuos? o es que en la altura los sujetos tienen una ventilación alveolar más homogénea que suprimiría las zonas llamadas "Compartimientos no ventilados" que se consideran existen en estado de reposo en sujetos normales del nivel del mar?

En la actualidad no podemos precisar exactamente, de todas maneras su demostración tiene gran importancia para nosotros pues la relación VR/CPT que a nivel del mar se considera como normal al 22% para un adulto, tendría que variar.

Entre los estudios realizados en nuestro medio se cuentan las observaciones hechas por el Dr. H. S. Igüero y Col. del I.M.B.O., según ellas habría un incremento sobre todo de la capacidad vital, el aumento de la capacidad residual funcional se efectuaría a expensas del volumen de reserva espiratorio, además existiría un aumento de el volumen ventilatorio máximo o capacidad ventilatoria máxima, este último dato concuerda con las observaciones hechas por el Prof. R. Lofranccis y col. por el contrario según este último no habrá modificaciones en la capacidad vital, el volumen minuto, es decir la cantidad de litros de aire que se ventila durante un minuto también está está aumentado en la altura, este aumenta en función de la P.O₂ y los nativos de altura tenemos un cierto grado de hiperventilación con relación a los valores del nivel del mar,

pero este aumento de la ventilación es menor comparado con el que experimentan los sujetos calificados como aclimatados a la altura procedentes de regiones bajas.

La respuesta a un incremento de P_{AO_2} (test de O_2) es menor para los nativos de altura y nula en los sujetos afectados de policitemia o enfermedad de Monge, este mismo test produce una baja de la ventilación más notoria en los sujetos venidos del nivel del mar.

Presiones parciales de los gases alveolares.-

El aire introducido en el curso de una inspiración se mezcla con el aire contenido a nivel de la traquea, bronquios y bronquiolos zonas que conforman el espacio muerto anatómico, una parte de esta mezcla gaseosa llega hasta los alveolos que se dilatan por la entrada de esta pequeña cantidad de aire que será la que intervenga en los intercambios alveolocapilares.

Esta mezcla gaseosa que ocupa los espacios alveolares se denomina aire alveolar y el parámetro que lo representa es la ventilación alveolar, es decir la cantidad de aire que entra y sale de los alveolos en un minuto. (3,5 a 4 lts) a nivel del mar.

En la fase espiratoria se produce un fenómeno contrario, el aire alveolar es eliminado hacia los bronquios y la traquea mezclándose con el ya existente en estos conductos que no es más que aire atmosférico que no ha intervenido en absoluto en los intercambios gaseosos.

Los estudios realizados por Chiodi en la Argentina y por Hurtado en el Perú, muestran un aumento de la ventilación alveolar en sujetos del nivel del mar comparados con los de la altura, este aumento de la VA se realizaría en base a un aumento de la frecuencia respiratoria.

La mejora de la ventilación alveolar constituiría un fenómeno de ambientación importante pues produciría un incremento de la P_{AO_2} que a su vez elevará el gradiente alveolo capilar favoreciendo de esta manera la (LO_2) difusión del O_2 .

En estado de reposo la composición del aire alveolar pese al recambio de cada ciclo respiratorio es más o menos constante.

Ahora bien, que composición es esta y cuales las diferencias con la composición del gas alveolar a nivel del mar; Recordemos algunos conceptos fundamentales como la composición del aire atmosférico la misma que en función directa de la presión atmosférica; la ley de las presiones parciales o ley de Dalton nos explica: "Cada gas que forma parte de una mezcla gaseosa ejerce una cierta presión que es proporcional a la fracción con la que este gas participa en dicha mezcla y la suma de las presiones parciales es igual a la presión total de la mezcla". Resumiendo esta ley:

$$P_x = P_B \times F_x$$

Sabemos que la presión barométrica a nivel del mar es de 760 mmHg. y que para La Paz es de 495 a 500 mmHg, si tomamos en cuenta la fracción de O₂ que existe en el aire ambiente podemos entonces calcular la presión que este gas ejerce:

$$P_{O_2} = 500 \times 0,21 = 105 \text{ mmHg.}$$

Este será el valor de la presión del O₂ que inspiramos o P_IO₂.

Recordemos también que en el aire alveolar contiene O₂, CO₂ y N₂ pero, concepto importante, la superficie alveolar se halla siempre cubierta por el vapor de exhalación o vapor de agua que ejerce una presión de la misma forma que lo haría otro gas; esta presión del vapor de agua que satura los alveolos es función directa de la temperatura del cuerpo y se considera que para 37 grados el valor de P_H2O es de 47 mmHg. De esta forma cuando van a medirse las presiones parciales de los gases alveolares será necesario restar la P_H2O o sea 47 mmHg. de la P_B. por ejemplo para La Paz y habiendo hecho la recolección del gas alveolar y su análisis, obtendremos como fracción alveolar para el oxígeno una cifra de alrededor 14,8% y para el CO₂ de 6,1% así:

Para el CO₂: PAO₂ = (495-47) X 0,148 = 66 mmHg.
PACO₂ = (495-47) X 0,61 = 27 mmHg.

Gradiente alveolo capilar.-

Las acciones químicas y fisiológicas que pueda producir un gas dependen de la presión que él ejerza, cuando la presión parcial de un gas es diferente en 2 partes de un sistema existe un gradiente de presión o gradiente de difusión, así el gas difunde de aquel medio en el cual la presión es más elevada hacia el medio en el cual la presión parcial es más baja; la velocidad de difusión será entonces mayor cuanto mayor sea este gradiente dependiendo en igual proporción de la naturaleza de la barrera que separa ambos medios, sino hay barreras los 2 medios alcanzan un equilibrio rápidamente pero si la hay como en el caso de la membrana alveolar los gases difunden con menor rapidez.

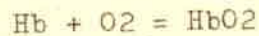
La membrana alveolar o barrera aire-sangre que tiene un espesor aproximado de 0,15 a 0,5 micrones, está constituida del lado aéreo por prolongaciones citoplasmáticas de células epiteliales que tapizan el alveolo, de una membrana basal constituida de diferentes capas y por el lado capilar de un endotelio que reviste el capilar, la presencia a este nivel de una gran cantidad de pıncitos en ambos lados de la membrana basal nos habla de su gran actividad.

Cuales las variaciones que puede sufrir el gradiente alveolo arterial en la altura, habiamos dicho que como consecuencia del aumento de la VA aumentaba la PAO₂ facilitando de esta manera la difusión. Este hecho a sido comprobado por algunos autores entre los que se cuentan Kruczer, Tenney, Mithoefer que trabajando a nivel del mar y en Morococha establecieron valores comparativos en 3 tipos de sujetos. Nativos de altura, nativos del nivel del mar y enfermos con poliglobulia debida a la altura, los resultados muestran un aumento marcado del gradiente alveolo arterial para los sujetos afectos de poliglobulia siguiendoles en orden de valores los nativos de altura y finalmente los del nivel del mar.

Normalmente el proceso de difusión es grandemente facilitado por la gran extensión de la que es el orden de 70 a 80 ms cuadrados a nivel del mar y que puede ser mayor en la altura como producto del aumento de la expansión pulmonar.

Transporte de O₂.

Recordemos que el transporte del O₂ por la sangre está directamente ligado a la presencia de hemoglobina en los glóbulos rojos; las propiedades químicas de la Hb confieren a esta propiedad de captar el O₂ físicamente fuera de todo proceso enzimático. En las condiciones alveolares normales la relación:



Se desplaza a la derecha y la mayor parte de la Hb se encuentra en forma de HbO₂ lo que se expresa diciendo que la Hb está saturada de oxígeno en un 95 a 96% a nivel del mar y para La Paz en un 90%.

En estudios hechos a 4540 mts. de altura se han llegado a establecer comparaciones entre las curvas de disociación de la Hb. a esta altura y la clásica del nivel del mar; a este respecto se pueden hacer observaciones particularmente importantes: a) en la altura la PaO₂ aunque marcadamente inferior está a la par con una concentración en volúmenes por ciento de O₂ más elevada; esto quiere decir que la misma cantidad de sangre conduce a los tejidos una cantidad de O₂ más importante que a nivel del mar. b) La diferencia del contenido de O₂ entre la sangre arterial y la venosa mezclada es de 4 volúmenes por ciento tanto en la altura como a nivel del mar, pero para proporcionar el mismo volumen a nivel de los tejidos la PO₂ sufre una caída de 50 mmHg. a nivel del mar y solo de 8 milímetros en la altura; además la sangre venosa mezclada contiene más oxígeno en la altura que a nivel del mar, en caso necesario esa sangre venosa constituirá para los tejidos en la altura una reserva de O₂ disponible mayor que a nivel del mar. Estos datos, no hay que olvidar, corresponden a una altura mayor que la de La Paz, es posible que en nuestro medio se experimenten cambios sino semejantes por lo menos aproximados. Ellos ya nos guían para explicar el aumento de la concen-

tración de Hb en la sangre de los naturales y habitantes de altura de mucho tiempo, así se dan cifras de 20 gr% a una para 4.500 mts., 16 gr% a nivel del mar y para La Paz de 17 a 18 grs % cc.

Respiración Tisular.-

Finalmente, unas pocas palabras de un capítulo de la respiración no ~~sea~~ muy explotado como es el de la Respiración Celular, para nosotros este estudio tiene una gran significación. Así pues, la penetración del O₂ hacia la célula allí donde acaba la etapa sanguínea, dependerá de la capacidad de difusión del O₂ a nivel de los tejidos, poco podemos decir a este respecto, ya existen algunos estudios particularmente de Reynafarje sobre tejido muscular, estos han mostrado que las reacciones tisulares a la hipoxia de altura se manifiestan en hipervascularización de los tejidos por un aumento en el número de capilares, aumento en la concentración de mioglobina fuente importante de reserva de oxígeno y un aumento de la densidad de las mitocondrias. Por último, han sido demostrados ciertos cambios en la actividad enzimática particularmente de la Succinésidasa, el ácido desoxiribonucleico y la citocromo C oxidasa que estarían aumentados lo que nos lleva a concluir diciendo que nuestros procesos de oxidoreducción se ven facilitados de esta forma y que nuestras células proporcionarían una mayor energía con un menor consumo de O₂.