

Problemas fisiológicos en los vuelos de altura

Por el Dr. J. RUIZ-GIJON, Profesor auxiliar de Fisiología de la Facultad de Medicina y Fisiólogo del C. I. M. A.,
y por el Capitán Médico MERAYO, Fisiólogo del C. I. M. A.

Las modernas exigencias de la guerra aérea obligan a los pilotos a alcanzar alturas en las que el suministro directo de oxígeno por la respiración del aire ambiente se hace insuficiente.

Es un hecho bien conocido que por encima de los 4.000 metros la tensión parcial de oxígeno del aire atmosférico se halla reducida en grado suficiente para influenciar desfavorablemente la capacidad física del piloto, que sufre tanto más cuanto mayor es la altura, pudiendo llegar a producir la muerte cuando se alcanzan niveles próximos a los 7.000-8.000 metros.

Desde un punto de vista fisiológico, se divide la atmósfera en cuatro zonas, seriadas en relación con la altura, como indica la figura 1.

Como se ve en ella, a partir de los 7.000 metros la vida no es posible, en términos generales, si no nos valemos de ayudas técnicas, como es la respiración con mezclas enriquecidas de oxígeno, o con oxígeno puro.

Utilizando este gas, la zona segunda, la de completa compensación fisiológica, se aumenta extraordinariamente, pudiéndose alcanzar hasta los 10.000-12.000 metros sin trastornos y los 14.000 con peligro. Aun respirando O₂ puro a 14.000 metros, la tensión de este gas en los alvéolos es teóricamente de 24 mm. de Hg., insuficiente para la respiración. Algunos pilotos en vuelos de "record" han llegado en aparato abierto a esta altura, pero descendiendo muy rápidamente. Para poder volar por encima de los 12 kilómetros es necesario proveerse de sistemas de hiperpresión que permitan alcanzar al oxígeno una tensión en los alvéolos pulmonares suficiente para saturar la hemoglobina sanguínea.

La siguiente tabla expone las tensiones parciales del oxígeno en el aire seco a las diferentes alturas: Teniendo en cuenta que el aire atmosférico tiene a nivel del mar un 79 por 100 de nitrógeno y un 21 por 100 de

oxígeno, y que la presión barométrica allí es de 760 mm. Hg., la correspondiente tensión parcial de oxígeno será 160 mm. Hg., la cual decrece conforme aumenta la altura, según el siguiente cuadro:

| ALTURA Metros | Presión barométrica mm. Hg. | Tensión de nitrógeno | | Tensión de oxígeno | |
|------------------|--------------------------------|----------------------|---------|--------------------|---------|
| | | Vol. % | mm. Hg. | Vol. % | mm. Hg. |
| 0 | 760 | 79 | 600 | 21 | 160 |
| 5.500 | 380 | 79 | 300 | 21 | 80 |
| 10.300 | 190 | 79 | 150 | 21 | 40 |
| 13.000 | 123 | 79 | 97 | 21 | 26 |

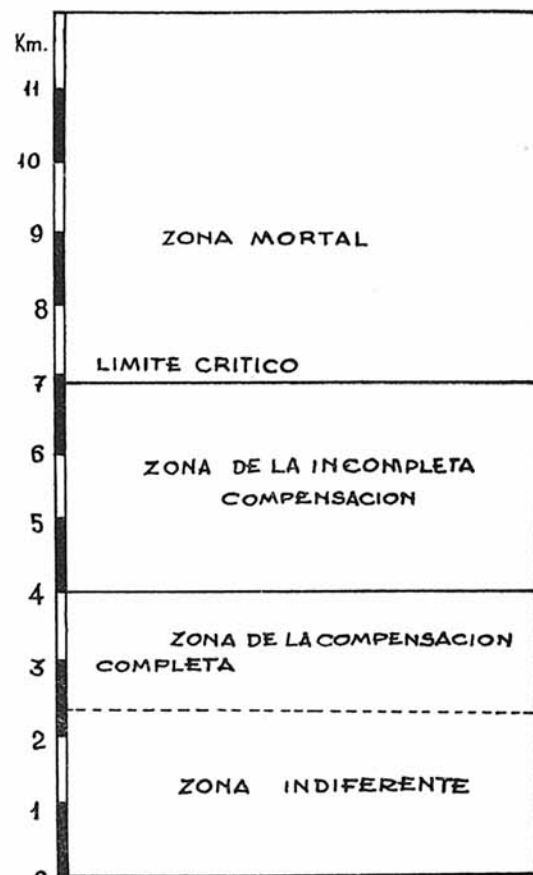


FIG. 1

Si se tiene en cuenta que las tensiones parciales medias del aire alveolar son las siguientes:

| | |
|-----------------------|------------|
| CO ₂ | 40 mm. Hg. |
| O ₂ | 103 " |
| N. | 572 " |
| Vapor de agua | 45 " |

tendremos para las diferentes alturas indicadas las siguientes tensiones parciales de dichos gases en los alvéolos (en milímetros de Hg.):

| AL T U R A | Nitrógeno | Oxígeno | Anhídrido carbónico | | Vapor de agua (1) |
|------------|-----------|---------|---------------------|-----------|----------------------|
| | | | Teo ría | Práct ica | |
| 0 | 572 | 103 | 40 | 40,9 | 45 |
| 5.500 | 20 | 46 | 18 | 30 | 45 |
| 10.300 | 117 | 20 | 8 | 31,3 | 45 |
| 13 000 | 63 | 11 | 4 | 29,9 | 45 |

de donde se deduce que a 5.500 metros la hemoglobina se saturará sólo un 85 por 100, a 10.300 un 45 por 100 y a 13.000 un 20 por 100.

Como se ve, desde los 5.500 metros la saturación de la hemoglobina sanguínea no puede realizarse de manera completa, lo que da lugar a trastornos y síntomas de anoxia, tanto más marcados cuanto mayor es la altura.

Como los trastornos anóxicos sobrevienen generalmente de manera solapada, sin que el piloto se dé verdadera cuenta de su estado hipofuncional, se recomienda y exige con insistencia extraordinaria que a partir de los 4.000 metros ó 4.500 metros se use siempre oxígeno. Los que conocen las ordenanzas de las armadas aéreas de los países beligerantes en la última guerra saben muy bien la importancia que a esta orden se le ha concedido y los quebrantos que ha dado lugar su no observancia.

El siguiente ejemplo, bien conocido (Leedham), ilustra claramente la necesidad de utilizar el oxígeno por encima de los 4.500 metros.

“A las dos treinta y cinco de la madrugada-

(1) Las diferencias entre tensión teórica (calculada) y la práctica (hallada en experimentos) se debe a la producción de CO₂ por el cuerpo.

da un aviador americano despegó en la oscuridad para hacer el acostumbrado vuelo de meteorología. Era costumbre elevarse a 4.800 metros, volando horizontalmente cada 450 metros por un período corto. Debido a un defecto de los instrumentos, ascendía en realidad el doble de lo que marcaba el altímetro. El vuelo fué normal hasta que este aparato marcaba 2.400 metros (en realidad 4.800), cuando el piloto empezó a sentirse débil, aturdido y con ligera confusión mental; tenía dificultad para respirar y opresión en el pecho. Sospechó que necesitaría oxígeno; pero como nunca lo había usado a alturas inferiores a 3.600 metros, y se hallaba entonces a “2.400 metros” solamente, pensó que no podía ser ésta la causa del trastorno. Mantenía contacto con tierra por la radio, pero le era imposible encontrar las palabras adecuadas. Aunque se encontraba débil y aturdido, empezó a subir más; entretanto se le cayó el micrófono y se puso a buscarle a oscuras por la cabina, sin que se le ocurriera encender la luz. Después de cinco minutos de búsqueda frenética, desistió, encontrándose luego el micrófono sobre las piernas. En este tiempo había alcanzado los “3.000 metros” (en realidad 6.000), y el aparato entró en barrena, cosa que no le inquietó nada; siguió subiendo, volvió a entrar en barrena y repitió esto varias veces. Ninguna de estas experiencias le alarmó, sino que aumentaron su determinación de alcanzar los 4.800 metros. La respiración era ahora difícil y se acompañaba de sensación de ahogo; la coordinación muscular era deficiente y el piloto tenía un gran trastorno emocional. Se encontraba malhumorado y poseído de una sensación viva de fracaso, porque otros pilotos podían llegar a los 4.800 metros sin dificultad y él era incapaz de llegar a los “4.750 metros”. Estuvo más de una hora tratando de elevarse sin poder conseguirlo, llorando de rabia. Había perdido toda precaución y sensación de tiempo. Luchaba como un loco, hasta que se encontró tan cansado que empezó a perder el conocimiento. Después de una hora pasada en este estado crepuscular, se despertó, encontrándose con que caía en barrena y que se hallaba a los “1.200 metros” (2.400), intentando aún volver a elevarse, pero desistiendo al poco tiempo por quedarle sólo gasolina para quince minutos y por hallarse más despierto por el mejor su-

ministro de oxígeno a esta altura. Después de aterrizar notó fatiga, poco apetito, temblor y falta de confianza; pero al otro día estaba completamente normal."

Esta necesidad de suministro de oxígeno crea inmediatamente problemas técnicos y fisiológicos, que han sido resueltos de manera diferente por los distintos países. Desde el punto de vista técnico, surge la necesidad de proporcionar a los pilotos el utillaje necesario para poderse proveer del oxígeno indispensable durante el vuelo. Desde el fisiológico, surge el estudio de las modificaciones que la respiración prolongada de oxígeno puro puede producir en el organismo, así como de su dosificación y de la posible conveniencia de la adición de CO₂ al oxígeno respirado con objeto de mantener en óptimas condiciones el funcionamiento del centro respiratorio.

Por lo que respecta a la respiración de oxígeno puro, a presión normal, la experiencia ha demostrado que no es perjudicial para el organismo cuando se emplea durante algunas horas (Flury y Zernik; Schúbert), si bien existen numerosos datos experimentales en los que la permanencia prolongada en este gas produce trastornos, que no vamos a detallar, por ser este tema objeto de especial estudio en nuestra sección de Fisiología del C. I. M. A.

Sin embargo, comentaremos únicamente los resultados de Behnke y colaboradores que han investigado este problema en hombres sanos de veintidós a cuarenta años, que fueron sometidos durante cuatro horas a presión de una atmósfera; durante tres horas, a dos atmósferas, y durante dos horas, a tres atmósferas.

Estos autores observaron que a cuatro atmósferas se producen convulsiones y síncope cuando la inhalación dura aproximadamente cuarenta y cinco minutos. Para presiones más bajas, y en los tiempos empleados indicados anteriormente, la producción de trastornos es muy rara. La presión arterial, el ritmo respiratorio y el volumen minuto no variaron durante estos experimentos.

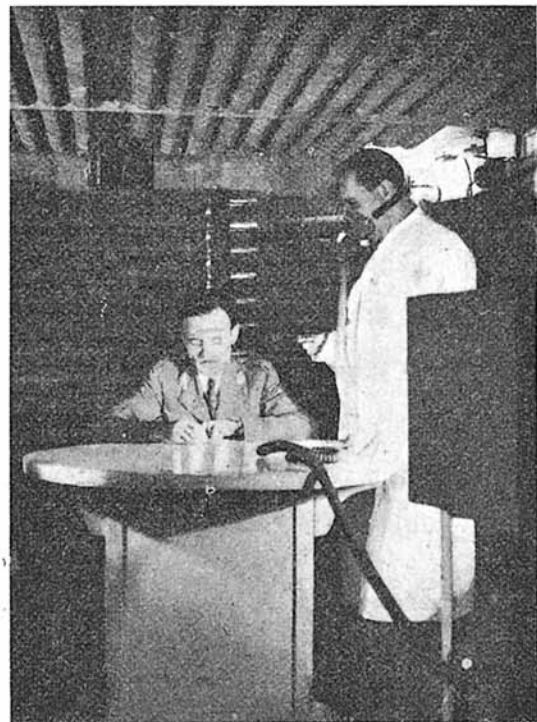
Como en la práctica aérea el oxígeno se utiliza a presión normal o a presión inferior a la normal, la aparición de trastornos no tiene lugar.

Más importancia tiene desde este punto

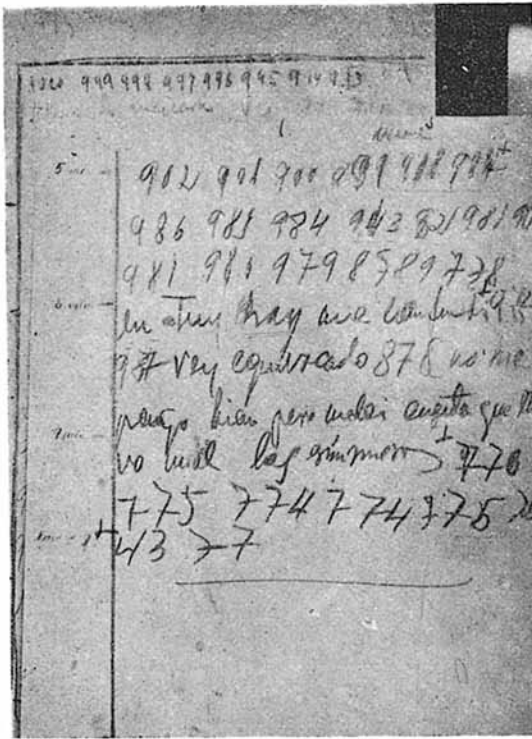
de vista el hecho de que a alturas elevadas el oxígeno penetra en la mascarilla a muy baja temperatura, lo que motiva molestias considerables que pueden dar lugar a contracciones de los músculos respiratorios de carácter reflejo. Será necesario acondicionar los aparatos de inhalación de forma que permitan la entrada del oxígeno previamente calentado a una temperatura tolerable.

También y muy difícil de subsanar es el defecto de la sequedad del gas, que produce a la larga irritación de la garganta, que puede llegar hasta producir afonía.

Juntamente con estos problemas técnicos deben tenerse en cuenta otros relacionados con el ahorro de oxígeno y con los efectos de la aceleración en los aparatos de respiración. Respecto al primero de ellos es conveniente dosificar el oxígeno de manera que a alturas bajas en vez de emplearlo puro se administre sólo en la proporción necesaria para compensar su enrarecimiento. Por encima de los 10.000 metros debe usarse siempre puro; pero por debajo de esta altura las necesidades complementarias de oxígeno vienen determinadas por esta fórmula:



Pruebas de selección en la cámara de baja presión del Instituto de Medicina Aeronáutica de Madrid.



en la que v es el volumen respiratorio en litros por minuto y b la presión barométrica en mm. de Hg., a la altura correspondiente.

Independientemente de estos temas puramente técnicos, surgen además otros muy importantes dependientes del mismo personal de vuelo. En los vuelos de altura, cualquiera que sea su objeto, y mucho más con fines militares, hay que contar con incidentes que pueden producir un desarreglo del aparato de respiración de oxígeno. Estas averías pueden ser de gravedad extrema cuando se vuela a alturas considerables, y dependen en grado máximo de la capacidad reaccional del piloto.

Cuando diferentes individuos son sometidos simultáneamente a una presión reducida correspondiente a alturas superiores a los 5.000 metros, desarrollan síntomas anóxicos en gravedad y con rapidez muy diferente unos de otros. Alguno puede entrar

en síncope en un plazo brevísimo, de algún par de minutos, mientras otros resisten quince y más minutos, dependiendo las diferencias en parte de un factor personal, bien conocido de todos los que se ocupan del estudio de los fenómenos biológicos, y por otra parte, de la altura absoluta. A mayor altura, menor diferencia. Es natural, por tanto, que en todas las armadas aéreas se seleccione el personal de vuelo de altura (en especial los pilotos de caza) entre aquellos que presentan una mayor resistencia a la anoxia.

Esta selección se hace en los Centros de Investigación empleando cámaras de baja presión, como la representada en la fotografía, que reproduce la del Centro de Investigación de Medicina Aeronáutica, de Madrid; o directamente haciendo respirar con mascarilla a los sujetos de prueba mezclas de oxígeno y nitrógeno, a presión normal, pero con una tensión parcial de oxígeno correspondiente a una altura aproximada de 7.000 metros. Este último sistema es mucho más práctico que el anterior, porque permite su utilización en todas partes, toda vez que no requiere la existencia de las costosas cámaras de baja presión. Desde un punto de vista fisiológico, ambas pruebas son muy análogas; pero no absolutamente idénticas, a causa de que no interviene en la segunda el efecto de la baja presión.

La fotocopia representa los trastornos de la escritura, que se producen durante la prueba y que sirven de índice, juntamente con el pulso y otros, del estado del individuo. La prueba presentada pertenece a un técnico del Centro de Investigación de Medicina Aeronáutica, de Madrid, y terminó a los ocho minutos. Obsérvese la diferencia entre la escritura del principio de la prueba (parte superior) y la del final. La prueba no produce molestias, y la sensación más notable experimentada por uno de nosotros durante la misma fué de indiferencia y apatía extrema, con dificultad de coordinación mental. La recuperación después de la prueba fué instantánea.