



Nuevos resultados y problemas de investigación referentes a la medicina de la estratosfera

Por el Profesor H. STRUGHOLD, Doctor en Medicina.

(De *Luftwissen*, núm. 6 de junio de 1942.)

El vuelo es la forma de movimiento más perfeccionada y libre de los seres vivientes; es también la más extendida, ya que manifiestamente crea condiciones de vida más favorables para la lucha de la existencia. Esto todavía se acentúa más cuando se sabe que la especie de aves que con el tiempo han perdido la capacidad de vuelo, mueren pronto a causa de ser una víctima demasiado fácil para los animales de rapiña. Después de que el hombre, por medios técnicos, ha conquistado la capacidad de volar, los pueblos también han organizado esta conquista en la lucha por su existencia, como demuestra la historia de los últimos treinta años. La investigación, y no solamente la técnica, busca los puestos más adelantados, ya que tiene el deber de aclarar el terreno en lo que se refiere al desarrollo, ensayos y garantía técnica.

El hombre en avión ha conseguido hoy una marca de altura de 17.000 metros, una de rapidez de 755 kilómetros por hora y una de radio de acción de más de 12.000 kilómetros, o sea mucho más que cualquier otro ser viviente. Con esto queda demostrada la cuestión del esfuerzo activo que se exige al organismo humano. En vuelo de altura, vuelo de rapidez y vuelo de gran autonomía, tenemos diversos puntos de contacto entre la aeronáutica y la medicina. Además, los pájaros no vuelan nunca en la niebla ni en las nubes, así como también vuelan, o bien solamente de día o solamente de noche. En contraposición con estos pájaros, diurnos o nocturnos, el hombre vuela, independientemente de la claridad, oscuridad y niebla. En el vuelo nocturno y vuelo ciego encontramos todavía más puntos de contacto entre aeronáutica y medicina. Los problemas especiales óptico-fisiológicos de la caza nocturna y artillería antiaérea no tienen, por tanto, que perderse de vista.

La investigación fisiológica se encuentra, sobre todo, en primera línea, allí donde se trata del desarrollo del avión. La aviación, sin embargo, exige también la consulta de casi todas las otras disciplinas médicas, nombrando solamente la patología y medicina interna.

El ejemplo clásico en que se demuestra la estrecha depen-

dencia que tienen entre sí la técnica de aviación y la medicina es, principalmente, la fisiología en el vuelo de gran altura. Aquí los teóricos y experimentales ofrecen en general fisiológicos elementos de investigación, puramente fundamentales para una alta fisiología especial que se desarrolla, por de pronto, en forma de fisiología de las altas montañas y en los clásicos períodos de altos viajes científicos con el globo libre, cuya primera organización hacia la aviación experimental se realizó a fines del siglo; de manera que nosotros aquí podemos hablar ya de una tradición cierta. El avance del avión hasta la estratosfera, sin embargo, presentó ante la todavía joven experiencia médica, una "tierra incógnita". Las siguientes explicaciones informan sobre los resultados conseguidos en los avances científicos sobre este terreno desconocido.

El problema completo puede quedar sentado en dos preguntas:

1.^a ¿Cómo y con qué medios de ayuda técnicos puede conseguir nuestro organismo avanzar hasta la estratosfera, manteniendo su completa capacidad mental?

2.^a ¿Cómo podremos nosotros salir nuevamente de la estratosfera si repentinamente nos viésemos privados de los medios de ayuda técnicos?

De una formulación semejante proceden también los problemas médicos de los submarinos y buzos, solamente que con reversibles signos de dirección y en zona distinta.

Veamos la primera cuestión. Ya sabemos que se ha descubierto que por la introducción del oxígeno respiratorio de la parte baja de la estratosfera y por medio de cabina de alta presión, por ejemplo, o el traje de hipertensión, se puede conseguir avanzar hasta a 17.000 metros de altura (fig. 1).

Para comprender el sentido de estas medidas y el rayo de acción de su actividad, solamente tenemos que recurrir al efecto de la altura en la troposfera.

En primer lugar, el complejo global del efecto de la altura está en el aprovisionamiento del oxígeno. Estamos ante el he-

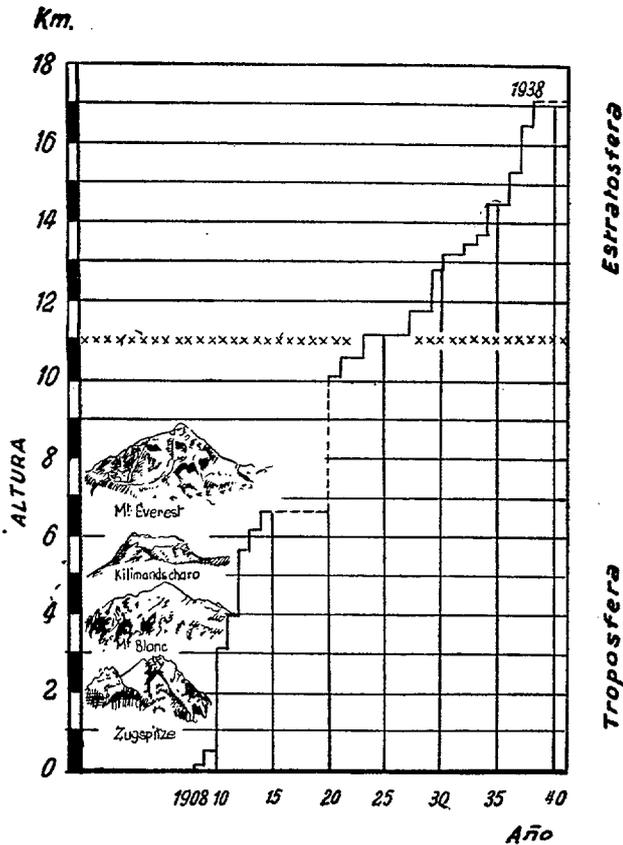


Fig. 1.—"Records" mundiales de altura con aviones terrestres desde el año 1908 a 1938.

cho biológico de que nosotros, para el mantenimiento de nuestra capacidad mental y salud, no solamente necesitamos a diario una cantidad determinada de albúmina, manteca, etcétera, etc., sino también un gas, o sea el oxígeno, que sirve para la combustión de las sustancias nutritivas firmes y líquidas en las células corporales, y por esto se consigue la energía. Nuestro mínimo de oxígeno asciende a unos 18 litros cada hora al nivel del mar, o 400 litros cada día.

El segundo hecho importante es que la toma de oxígeno por los pulmones en las alturas crecientes será siempre más difícil. Esto, sin embargo, no conduciría a una situación desesperada si no tuviésemos que contar con un tercer factor, esto es, que no podemos acumular el oxígeno en nuestros cuerpos. Con respecto a nuestra sustancia alimenticia gaseosa vivimos, en cierto modo, "con la mano en la boca".

Estas tres averiguaciones convierten la cuestión de falta de oxígeno en un factor decisivo del efecto de la altura, con el que ya en la troposfera tuvimos el primer aviso para calcular lo que será en la estratosfera. Es el hecho de que ya a 4.000 metros disminuye la capacidad mental, y más arriba de 8.000 metros la vida se extingue.

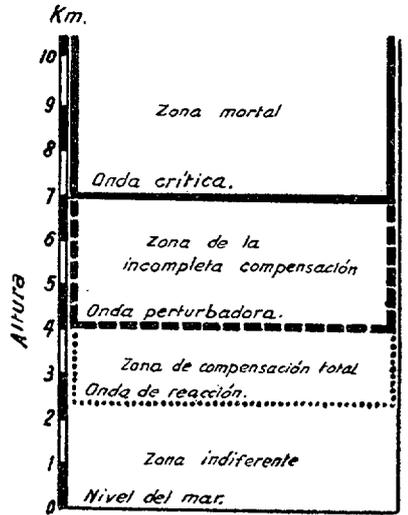


Fig. 3.—Articulación fisiológica de las capas atmosféricas.

¿De qué depende, ahora, la falta de oxígeno? No se funda en una disminución de la parte proporcional del oxígeno en el aire como mezcla de gases, pues E. Regener, con globos registradores, pudo comprobar que a una altura de 20.000 metros existía todavía un volumen de 20,7 por 100 de oxígeno. La carencia es causada principalmente por la disminución del número de moléculas de oxígeno en la unidad de volumen lo que, como es sabido, caracteriza la presión de un gas. Esto lo vemos en la fotografía 2, donde las moléculas de oxígeno están señaladas en blanco, y en negro las moléculas de nitrógeno.

Pero la presión del oxígeno está determinada por su penetración en la sangre, o mejor aún, por la presión del oxígeno en las vesículas pulmonares, la cual no se eleva a 160 mm. de mercurio, como en el aire exterior, sino solamente a unos 100 mm. de mercurio, a causa de la existencia de vapor de agua y otros factores. Esta es la presión eficaz del oxígeno en los pulmones. En nuestras células corporales la presión del oxígeno es muy reducida; por ello, desde los lugares de más alta presión la sangre, actuando como órgano de transporte, lleva el oxígeno a las células. La respiración sirve siempre como instalación ventilatoria para la conservación de una presión suficiente y eficaz de oxígeno en los pulmones. Si la presión del oxígeno en los pulmones disminuye ahora a 80 mm. de mercurio (este es el caso a 2.000 metros), entonces entra en movimiento el mecanismo de provisión de oxígeno. La respiración es fortalecida y se consigue como una especie de condensación para el oxígeno en los espacios pulmonares. El ciclo, el mecanismo de accionamiento y la instalación repartidora para la corriente sanguínea son puestos en marcha. Pero estas compensaciones para la falta de oxígeno no impiden que, finalmente, por

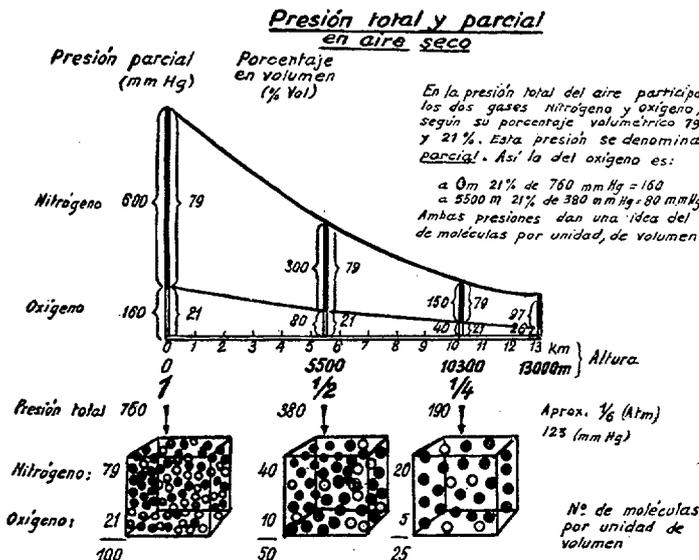


Fig. 2.—Presión total y parcial en el aire seco, según H. G. Glamann.

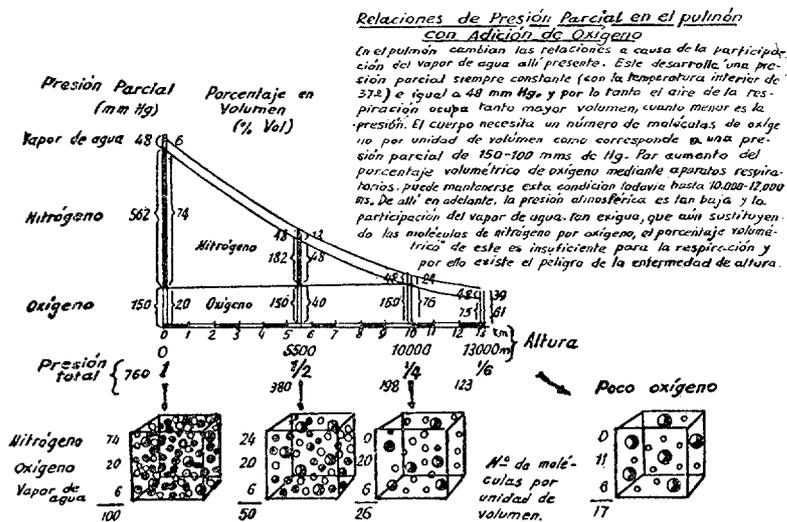


Fig. 4.—Presión parcial del oxígeno en los pulmones con la adición suplementaria de oxígeno, según H. G. Glamann.

una presión de oxígeno en los pulmones de 60 milímetros de mercurio, a unos 4.000 metros, se produzca una clara perturbación en la capacidad mental de obrar, la cual, por último, en una altura de 7.000 a 8.000 metros, donde reina en los pulmones una presión de oxígeno de 30 mm. de mercurio, hace que esto sea crítico y peligroso para la vida (figura 3).

Los límites de altura que se nos presentan por la falta de oxígeno son muy estrechos, aunque serían todavía mucho más estrechos si no pudiésemos compensarlos por la respiración y ciclo. Para mejor comprensión, principalmente por lo que respecta a la estratosfera, usaremos un símil: tomar un ser hipotético con ciclo, siempre constante y respiración incambiable, comparable a un "auto" con acelerador comprobado y embrague fijo. Este individuo hipotético, incapaz de regulación, se desplomaría subiendo las escaleras después de unos 100 escalones, y justamente a 2.000 me-

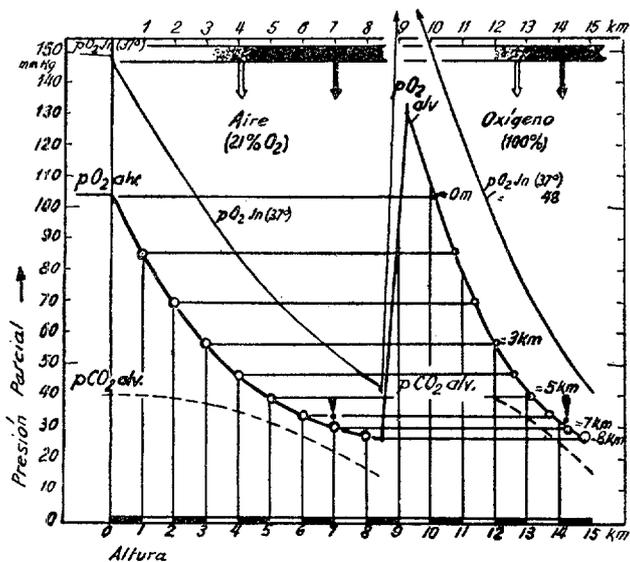


Fig. 5.—Representación de la presión de oxígeno en el pulmón en la respiración corriente y con oxígeno, según E. Opitz.

tros estará ya intensamente agotado por el aire de altura, y a más de 4.000 metros sucumbirá. Pero el hombre sano no muere todavía aquí, porque su aparato de provisión de oxígeno puede regularse. Podemos compensar la falta de oxígeno y empezar para ello a 2.000 metros. Con esto permanecemos en práctica capacidad mental de trabajo hasta 4.000 metros, y en relación al sostenimiento de la vida, las alturas son compensables hasta 8.000 metros.

En la misma situación nos encontramos ante la pregunta del límite de seguridad del oxígeno para la respiración en la estratosfera. ¿Hasta qué punto podemos arriesgarnos a subir en la estratosfera con el aparato de respiración para grandes alturas? Ya es conocido el objeto de este aparato: es el mantener la presión del oxígeno en las vesículas pulmonares casi semejante a la del nivel del mar, por medio del oxígeno adicional (como se presenta en la figura 4), que restablece así el equilibrio molecular al

mismo tiempo que las grandes bolas grises sustentan el vapor de aire en las vesículas pulmonares.

Los cálculos han dado el resultado que sigue, y el experimento ha confirmado la exactitud de que en modo semejante que en la troposfera por la respiración de aire, la presión del oxígeno en los pulmones, que disminuye al valor de 30 mm. de mercurio a 7.000 metros, se restablece por la respiración de oxígeno en la estratosfera, donde alcanzamos una altura de más de 14.000 metros (línea gruesa de la fig. 5).

Con esto quedan demostradas las compensaciones fisiológicas de la altura por la respiración de oxígeno y la respiración de aire. Así la respiración de oxígeno a 10.000 metros corresponde a la respiración natural a 0 metros; a 12.000 metros es igual a la de 3.000 metros, y a 13.000 metros semejante a la de 5.000 metros.

Volvamos a coger ahora nuevamente nuestro ser hipotético, incapaz de regulación; éste debía agotarse a una altura de 11.000 metros de respiración de oxígeno. Mediante las regulaciones el aviador sano consigue, sin embargo, con nuestros modernos aparatos respiradores para grandes alturas, permanecer a más de 12.000 metros con completa capacidad mental de obrar, y en caso de necesidad puede regularse todavía a una altura de 14.000 metros. En la cámara de depre-

Altura Absoluta	Altura fisiológica
15 000 m	8 000 m
14 000 m	7 000 m
	6 000 m
13 000 m	5 000 m
	4 000 m
12 000 m	3 000 m
	2 000 m
11 000 m	1 000 m
10 000 m	0 m

Fig. 6.—Correspondencia de alturas en la respiración con oxígeno y natural, según U. Luft.

sión H. Hartmann, que ofrendó su vida en Nanga Parvat al servicio de las altas investigaciones fisiológicas, se consiguió una ascensión hasta 14.000 metros. No obstante, los límites de seguridad o las olas de perturbación del oxígeno de la respiración debemos fijarlas a 12.000 metros. Para otras empresas de mayor altura que ésta es necesario fijar aviadores elegidos que sean particularmente capaces de regulación.

Por la admisión de cantidad de oxígeno fué elevado el límite de altura para la aviación, de 4.000 metros, que tenía antiguamente, a 12.000 metros. Esto es, una gran conquista de 8.000 metros, un éxito visible del trabajo común de la técnica y la medicina.

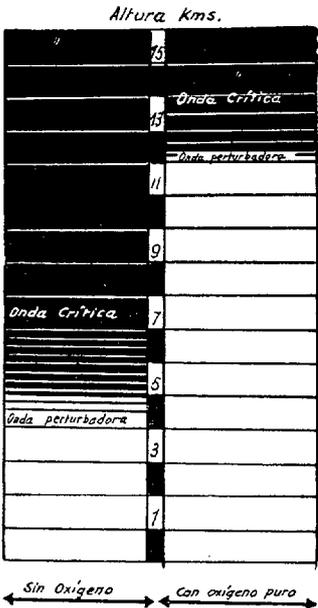


Fig. 7.—Ganancia en altura por la respiración de oxígeno.

Pero todo esto sólo sirve para ascensiones de corta duración. Para vuelos de larga duración son mucho más bajos los límites fisiológicos de la altura, ya que se presentan otros dos componentes que agudizan el efecto de la altura. Se trata de factores físicos que obran activamente al aparecer en la alta troposfera o en la subestratosfera y son originados por el descenso de la presión total.

Al nivel del mar nuestro cuerpo permanece bajo la presión de una atmósfera; esto es, en un centímetro de nuestra piel obra una fuerza de un kilo aproximadamente. De aquí se deduce, que a 5.500 metros la fuerza será de medio kilo; a 10.300 metros, de cuarto de kilo; a 13.000 m., de un sexto de kilo, y a 16.000 metros, de 1/10 kilos/cm². Como son gases, se ven obligados a extenderse en las cavidades del cuerpo llenas de gas (estómago e intestino), proporcionalmente a la ley de Boyle-Mariotte. Una ampolla de agua de jabón, por ejemplo, aumentaría en el intervalo del tropo en cinco veces su volumen (fig. 8).

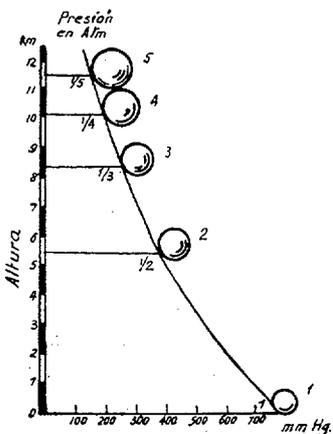


Fig. 8.—Dilatación de los gases con la altura.

La consecuencia de ello es una compresión en la respiración y la dificultad de arrojar gases, principalmente a más de 10.000 metros de altura; con este problema nos enfrentaremos más adelante. Así hemos podido conocer un segundo com-

ponente del efecto de la altura; esto es, uno puramente mecánico, ocasionado por el descenso de la presión total.

En próxima relación con ello está un tercer factor, también físico, que fué designado por Hornberger y Benzinger como enfermedad de caída de presión, y entre los america-

Kurt Schaefer 24.4.41					9000 m
1000	999	998	997	996	con O ₂
995	994	993	992	991	
990	989	988	987	986	Sin O ₂
985	984	983	982	981	30"
980	979	978	977	976	
975	974	973	972	971	1"
970	969	968	967	965	730"
44	<i>V_{max} 1/2</i>	<i>1/2</i>	<i>0</i>		140" (64) 155" 2'15" O ₂

Fig. 9.—Comprobación del tiempo de reserva por la escritura a 9.000 m. de altura. Mientras de 7 a 8.000 metros la imagen escrita desaparece lentamente al cabo de unos minutos, aquí sucede lo propio en diez segundos después de la aparición de los primeros trastornos (según O. Gauer, E. Opitz, F. Palme y H. Strughold).

nos como aeroembolismo. Se trata aquí de la liberación del contenido de nitrógeno de la sangre y tejido grasoso, el cual, por el rápido descenso de la presión total en una cuantía de un 60 por 100, hace que la presión de salida forme pequeñas vesículas, las cuales suelen ocasionar principalmente molestias dolorosas en las articulaciones, y algu-

Erich Opitz 3.7.41						12000 m
1000	999	998	997	996	995	con O ₂
994	993	992	991	990	989	
1000	999	998	997	996	995	Sin O ₂
994	993	992	991	990	989	990 35"
<i>Inconsciencia, Oxígeno despues de 48 seg.</i>						

Fig. 10.—Representación del tiempo de reserva por pruebas escritas a 12.000 m. La incapacidad sobreviene aquí rápidamente.

nas veces hasta pequeñas embolias. Es evidente una próxima relación de esto con la enfermedad de Caïsson, la cual ataca a los trabajadores de campanas, sumergibles y buzos. Este tercer componente del efecto de la altura es claramente conocido hoy, y también sabemos ya cómo habérsela con

él. Este, en relación con el efecto mecánico de la dilución del aire en el suelo, es una de las razones por las cuales es necesaria la cabina de depresión para los vuelos de larga duración. Esta protege el cuerpo contra todos los efectos de la altura, de la falta de oxígeno y de los dos factores físicos, ya que en

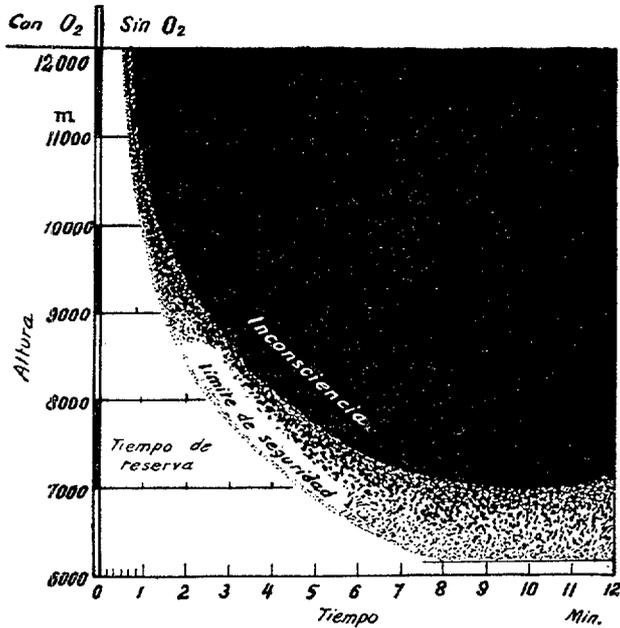


Fig. 11.—Descenso del tiempo de reserva con la altura, según U. Luft, E. Opitz y H. Strughold.

la estratosfera se cierra herméticamente. También le protege contra otro factor físico, el cual se agudiza, generalmente, ya a 20.000 metros. Como ya sabemos, el agua al nivel del mar hierve a una temperatura de 100° C. Pero el punto de ebullición depende de la presión del aire. Así el agua en el Mont Blanc hierve a una temperatura de 83° C., en el Monte Everest a 70° C., y a unos 19.000 metros de altura el punto de

interior? Las investigaciones sobre el efecto de la altura en la troposfera inferior señalan como fisiológicamente conveniente una presión correspondiente a 2.000-3.000 metros; así nos quedamos a una distancia favorable de la falta de oxígeno u ondas disturbadoras, las cuales se producen a 4.000 metros. Pero al mismo tiempo la diferencia de presión contra el aire exterior a la cabina no es tan grande como contra la presión al nivel del mar. La diferencia de presión entre el interior y el exterior es de gran importancia con respecto a la posibilidad de un escape en la cabina. Con esto hemos abordado la segunda cuestión de la experiencia de la medicina de la estratosfera. ¿Qué ocurriría si nosotros, repentinamente, nos viésemos privados de los medios de ayuda técnicos de adición de presión, por ejemplo de la adición de oxígeno, por el tiro enemigo o por cualquier otra circunstancia?

Para contestar categóricamente a esta pregunta debemos nuevamente fijar también en la subestratosfera cuál es el lugar de 7.000 a 12.000 metros en el que utilizamos todavía el aparato respirador para grandes alturas.

Supongamos, por ejemplo, que a 9.000 metros se interrumpe de repente la respiración de oxígeno, como se ve en la figura 9; pasa todavía un tiempo limitado hasta que el piloto se siente mentalmente incapaz de obrar. El tiempo desde la interrupción de la respiración de oxígeno hasta la incapacidad para los autónomos trabajos de auxilio es igual al tiem-

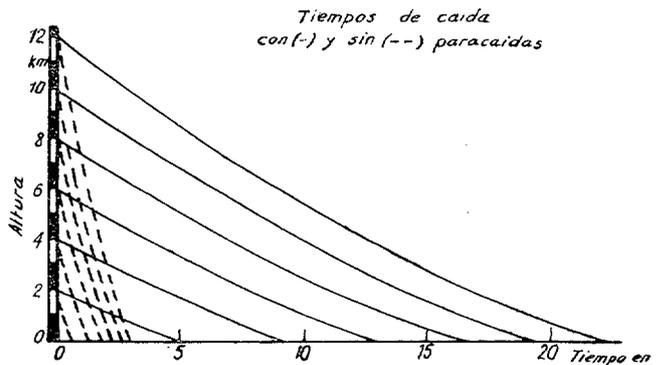


Fig. 13.—Tiempos de caída y hundimiento en el salto con paracaídas, según O. Gauert.

po de reserva y se hace más corto cuando la altura va aumentando, como lo muestra la figura 10 y la fotografía de conjunto de la figura 11.

De la misma manera se presentan las proporciones en el escape de la cabina de depresión, solamente con la diferencia de que aquí, simultáneamente con la presión parcial, la presión total del interior de la cabina se suma a la de la estratosfera.

Esta cuestión hace algunos años no estaba todavía aclarada. En efecto, el químico fisiológico alemán Hoppe-Seyley presentó los primeros ensayos de descenso de la presión en animales en una campana de cristal, sin figurarse que estos mismos serían ampliados más adelante. En el curso de los últimos años se han producido grandes aclaraciones en el problema de disminución de la presión, principalmente por los ensayos de H. G. Clammann (Berlín) y Th. Benzinger, y H. Döring (Reichling). La figura 12 da nuevamente las curvas ori-

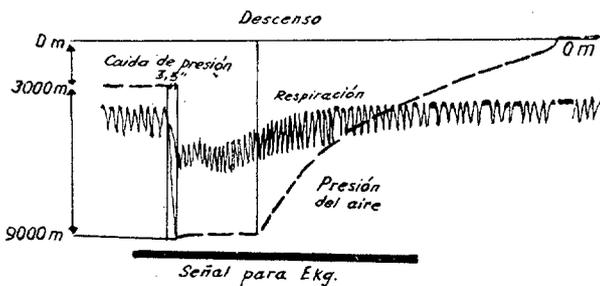


Fig. 12.—Curva original del proceso de caídas de presión en el hombre de 3.000 m. a 9.000 m., según H. G. Glammann.

ebullición es a 37° C., que es la temperatura de ebullición de nuestra sangre. A esta altura nuestro contenido líquido del cuerpo debía empezar también a hervir.

Volvamos nuevamente a la cabina de depresión: Se nos presenta le pregunta: ¿qué presión de aire debe reinar en su

ginales de un ensayo de descenso de presión en un hombre de 3.000 a 9.000 metros.

El resultado de los propios ensayos heroicos de estos sabios fué que el descenso de la presión a la rapidez de unos segundos, de 3.000 hasta 15.000 metros, y aún más, fuese bien soportado, por lo menos en lo que concierne a la repercusión mecánica. Lo decisivo es también aquí la falta de oxígeno y la corta duración del tiempo de reserva ocasionado por ello. Basándose en los conocimientos fisiológicos conseguidos así, pudo la técnica comenzar a idear posibilidades de sobrepresión, sobre las cuales no se había podido pensar antes. Esta cuestión será aclarada más fácilmente por el estudio del salto con paracaídas. Ya en el mando de la respiración de oxígeno el aviador de hoy día se encuentra a menudo ante una situación fisiológica hasta de 12.000 metros, la cual debe conocer. Es evidente que de los tiempos producidos de caída y hundimiento (fig. 12), en relación con el tiempo de reserva, se tendrá que presentar la pregunta: ¿Debe el aviador tirar del paracaídas o no? La explicación de ello la proporcionan los saltos imitados de paracaídas en la cámara de depresión, como aquellos que fueron realizados por S. Ruff y H. W. Romberg, y O. Gauer, E. Opiz y F. Palme.

Estos saltos de paracaídas imitados dieron como resultado el probar que la altura de 9.000 metros es crítica para la cuestión: ¿Dejarse suspender o tirar del paracaídas? También aquí se podían dar al aviador las indicaciones necesarias, no sólo sobre el terreno de cálculos teóricos, sino de investigaciones experimentales.

La ruta en el desarrollo de la Aviación va hacia arriba, en alturas cada vez mayores. Si la estratosfera, para determinados servicios, sustituirá a la troposfera, y en qué altura serán fijados los trayectos del tráfico aéreo en tiempo de paz, son cuestiones que quedan reservadas para el futuro. Cualesquiera que sean las investigaciones, así técnicas como médicas, tienen que tender siempre hacia el desarrollo de la Aviación, tanto militar como de tráfico, y a allanar la ruta hacia la estratosfera. En lo que concierne a la medicina aeronáutica, el problema de la estratosfera demuestra justamente que la condición previa para el éxito es solamente la investigación de las cosas con métodos precisos, cuantitativos y fisiológicos. Pues en ninguna parte viene mejor que aquí la frase de Helmholtz, "que solamente los conocimientos conseguidos en el suelo, sobre las ciencias exactas de la naturaleza, fijarán el dominio sobre los poderes de la naturaleza".

