

El personal en vuelo y las aceleraciones

Por JOAQUIN UGEDO ABRIL

Alférez Médico Alumno.

La idea de la velocidad ha ido siempre unida en la mente humana a la del peligro. Todavía hoy, de un modo ingenuo, la abuela suele recomendar al joven piloto que vuele bajo y "no corra demasiado". Para ella, velocidad sigue siendo sinónimo de peligro. Sin embargo, el hombre ha ido alcanzando velocidades cada vez mayores, sin que de ello y como consecuencia directa de la velocidad se haya seguido perjuicio alguno.

Son los norteamericanos los que hoy marchan a la cabeza en cuestión de velocidad, seguidos de cerca por rusos y británicos. El Bell X-1, avión supersónico americano, es quizá el más veloz del mundo, aunque se desconocen muchas de sus características. La marca mundial de velocidad más elevada oficialmente homologada la ostenta el North American "Sabre", con 1.079,841 km/h. No obstante, modelos más modernos vuelan normalmente por encima de los 1.120 km/h. Los modelos rusos más veloces parecen ser el Yak-21 y el Mig-15, de características semejantes, quizá superiores, al del F-86.

Aceleraciones.

Es cierto que la velocidad en sí no representa peligro para el organismo humano. Basta recordar que con la Tierra la Humanidad entera se mueve en el espacio a velocidades supersónicas. Otra cosa muy distinta es lo que sucede con las variaciones en la velocidad, sea en intensidad o dirección, esto es, con las aceleraciones.

La Física define la aceleración como el incremento de la velocidad en la unidad de

tiempo. Para un instante determinado, su expresión matemática es:

$$\gamma = \frac{dv}{dt} \quad [1]$$

Ahora bien, siendo la velocidad una magnitud vectorial, puede modificarse en ella el módulo y el argumento, es decir, la intensidad y la dirección.

Las modificaciones del módulo o intensidad se originan cuando sobre la trayectoria considerada varía el espacio recorrido en unidad de tiempo.

Cuando lo que varía no es el espacio recorrido (velocidad lineal), sino la dirección del movimiento, se origina una aceleración, cuyo valor viene dado por la ecuación

$$\alpha = \frac{V^2}{R}$$

Siendo α función del cociente $\frac{V^2}{R}$, es claro que para un valor dado del radio R variará en razón directa del cuadrado de la velocidad.

Y para un valor constante de α se realizará:

$$\alpha = \frac{V^2}{R} = \frac{V_1^2}{R_1} = \frac{V_2^2}{R_2} \dots$$

La unidad C. G. S. de aceleración deducida de la expresión [1] es la que corresponde al incremento de la velocidad en un centímetro por segundo. Esta unidad no es utilizada habitualmente en Medicina aero-

náutica. Resulta mucho más práctica la llamada unidad G, aceleración producida por la fuerza de atracción de la Tierra.

Aceleraciones originadas durante el vuelo.

La tripulación de los aviones, desde el momento de iniciarse el rodaje hasta que se detienen los motores en la línea de estacionamiento, se encuentra sometida a una serie de aceleraciones lineales y angulares, variables con el tipo de aparato y características de cada vuelo. Así, por ejemplo, un avión que tome tierra en 200 metros de pista, se ve sometido a aceleraciones negativas, que para distintas velocidades pueden fácilmente deducirse de las leyes fundamentales de la Dinámica:

Para velocidades — Km/h.	Aceleraciones en G
100	0,202
300	1,818
500	5,05

Del mismo modo pueden calcularse las aceleraciones que son necesarias para realizar el catapultaje de un avión, conociendo la longitud de la catapulta y la velocidad mínima de sustentación del aparato. Generalmente, se utilizan aceleraciones de 3 a 4 G.

Cuando sin modificar la velocidad lineal un móvil varía su dirección describiendo una curva, se origina una aceleración centrífuga que para distintas velocidades y radio de trayectoria toma los siguientes valores:

Velocidad — Km/h.	Radio — Metros	Aceleraciones en G
100	100	0,8
	400	0,2
500	400	5,0
	800	2,5
	1.200	1,75
1.200	800	14,4
	1.200	10,0
	1.800	5,0

Estos valores, calculados de un modo matemático no corresponden de un modo preciso con la realidad. Las aceleraciones no son

invariables a lo largo de un recorrido, y por ello las cifras anteriores representan el valor medio del total de las aceleraciones en cada instante. En algunos momentos, las aceleraciones son mayores. Así, por ejemplo, en el "looping" es siempre muy superior el valor de la aceleración en el punto de la trayectoria que en cualquier otro. Sucede que junto a la dirección de vuelo varía intensamente la velocidad lineal. Los gráficos núms. 1 y 2 explican perfectamente como suceden las cosas en el "looping normal" y en el "looping invertido".

El hombre y las aceleraciones.

Los efectos de las aceleraciones sobre el organismo humano dependen de múltiples factores. Dejando aparte las consideraciones de tipo individual, puede afirmarse que los elementos más interesantes a considerar son: la intensidad, la dirección y el sentido de las aceleraciones. De un modo esquemático se distinguen las aceleraciones transversales y las longitudinales, con relación al eje mayor del cuerpo.

Aceleraciones transversales.

Burlen, Armstrong, Malmejac, G a n e r, Heins, Fischer y Ruff son los investigadores que más han contribuido al conocimiento de los efectos de las aceleraciones transversales.

Para aceleraciones de hasta 6 G no se presenta trastorno alguno de consideración. El piloto siente más pesados sus miembros, encuentra alguna dificultad de desplazamiento y se halla fuertemente pegado al respaldo. Entre 6 G y 10 G aparecen las molestias respiratorias. Los movimientos de tórax y abdomen son difíciles y de poca amplitud. La inspiración es especialmente penosa. Aparece un cuadro superponible al de la compresión torácica, con presentación incluso de pequeñas petequias. Por encima de 12 G se añaden trastornos de tipo visual y psíquico. La visión se hace desdibujada, esmerilada y confusa, apareciendo la cefalalgia y tendencia lipotímica.

Para Burlen y Armstrong los trastornos respiratorios se deben al efecto compresivo sobre tórax y abdomen, ejercido por el

aumento de peso del organismo. Las alteraciones visuales obedecen a modificaciones de la hemodinamia y deformación de los medios de refracción del ojo. Los trastornos psíquicos encontrarían su explicación en las anormales condiciones de irrigación cerebral.

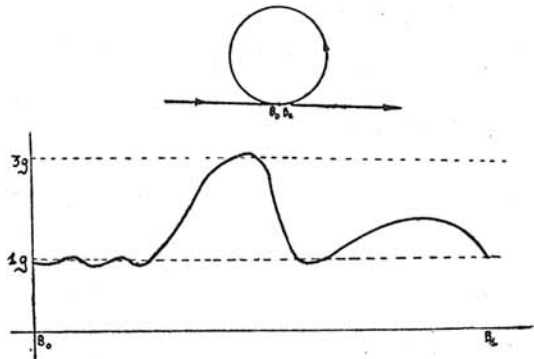


Fig. 1.

Variaciones del valor y sentido de la aceleración en los distintos puntos de un "looping" invertido.

Aceleraciones longitudinales.

Siendo muy distintas las consecuencias de este tipo de aceleración, según actúen en el sentido de cabeza a pies, o de pies a cabeza, se comprende que haya que hacer un estudio separado de estos dos casos.

Desde las observaciones de Cookfield, en 1924, hasta las de nuestros días, pasando por los estudios de Waghom, en 1929, y los de Strughold, en 1939, no han cesado las investigaciones para concretar al máximo el efecto de este tipo de aceleraciones. En esquema, la situación hoy es la siguiente:

Cuando las aceleraciones en el sentido de cabeza a pies llegan a un valor de 2 G el piloto se siente pegado con fuerza al asiento, sus miembros se hacen pesados y los movimientos algo dificultosos. Al llegar a 3,5 G, los pies y las manos no pueden realizar más que muy pequeños desplazamientos. La cabeza cae sobre el pecho, a no ser que esté bien apoyada y sujeta, derecha sobre el tronco. Al llegar la aceleración a valores de 5 G el piloto tiene la impresión de vacío en la cabeza, el labio y párpados inferiores caen irresistiblemente, los globos

oculares quedan como aplastados contra el suelo de la órbita.

Rápidamente se ve todo como a través de un cristal esmerilado y, finalmente, aun cuando hayan cesado ya las circunstancias determinantes, se pierde la visión distinta, entrando en lo que se ha dado en llamar "visión negra". Este fenómeno, originado por una insuficiente irrigación de retina y centros cefálicos, se inicia por el campo nasal de la visión y rápidamente se extiende hasta llegar a una anoxia total, cuya duración, variable entre 2 y 25 segundos, depende, aparte de las condiciones mecánicas, de la constitución y reactividad cardiovascular del sujeto. Si valores de 6 G se mantienen durante 12 ó 14 segundos se llega a la pérdida del conocimiento, tanto más persistente cuanto más intensa sea la aceleración o más tiempo haya actuado. Pasado el estado sincopal, queda una sensación de laxitud y cansancio unido a una cefalalgia de intensidad variable.

Estudios experimentales muy perfectos de Noyons, Fischer, Peiffer y otros han concretado las causas de estos fenómenos. Lo fundamental son los trastornos hemodinámicos. Como consecuencia de la aceleración, la sangre es impulsada a territorios infra-diaphragmáticos. El corazón trabaja casi en vacío, y la tensión arterial cefálica descende de valores de 110 milímetros de Hg para 1 G, a valores de 10 milímetros de Hg para

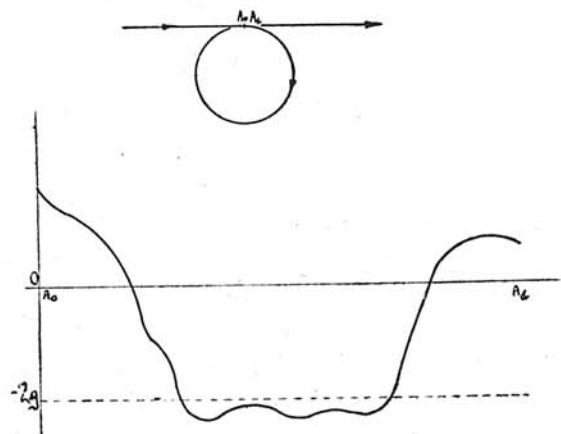


Fig. 2.

Variaciones del valor y sentido de la aceleración en los distintos puntos de un "looping" normal.

5 G. Cuando la tensión cefálica baja de 40 milímetros de Hg se inician los fenómenos visuales, y por debajo de 30 milímetros aparece el estado sincopal. La retina y corteza cerebral, órganos especialmente sensibles a la anoxia, reaccionan con un déficit o inhibición funcional. En el gráfico número 3 vemos las modificaciones del número de pulsaciones, amplitud y presión arterial cefálica.

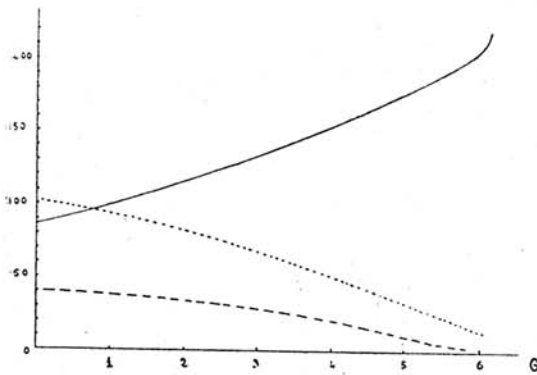


Fig. 3.

En el eje horizontal, valor en G de la aceleración longitudinal en el sentido cabeza-pies. En el vertical: Trazo continuo = número de pulsaciones por minuto. Trazo de puntos = tensión arterial carotídea. Trazo de rayas = diferencial de tensión.

De modo distinto reacciona el organismo ante las aceleraciones de sentido pies a cabeza. Valores de 2 G producen una molesta sensación de dolor pungitivo en la cabeza, especialmente en la región frontal. Los ojos y la cara se encuentran congestionados, la posición relativa de los miembros es difícil de mantener y los movimientos se hacen inarmónicos y difíciles. Al llegar a 3 G, aparecen pérdidas lacunares de la visión, que aumentan hasta ocupar todo el campo visual, como si un velo rojo hubiese caído sobre los ojos. Es la llamada "visión roja" del "looping invertido".

La cabeza parece que va a estallar, los ojos quieren salirse de sus órbitas. Si la intensidad llega a 4 G se instala un cuadro confusional y de obnubilación mental que puede conducir a la pérdida total del conocimiento. Estas consecuencias pueden ser

bastante persistentes con las consiguientes catastróficas consecuencias. Como secuela, queda siempre una intensa cefalalgia y un déficit mental de duración variable. Intensidades mayores pueden llevar a una muerte inmediata por congestión y hemorragia cerebral. Los estudios de De Stewart, Wood, Lambert y otros investigadores han aclarado el mecanismo de estos hechos. La congestión e hiperemia del polo anterior del ojo es para muchos la causa de la visión roja. Los fenómenos cerebrales dependen del estado de hiperpresión endocraneana originada por la hiperemia y congestión cerebral y propulsión cefálica del líquido cefalorraquídeo.

Aceleración, "ilusiones sensoriales" y reacciones motrices inadecuadas.

El hombre tiene noticia de la posición que ocupa en el espacio y de la situación relativa de sus miembros por una serie de sensaciones originadas a nivel de determinadas porciones de su aparato sensorial. Es fundamental el papel desempeñado por la sensibilidad superficial y profunda, el oído interno con los canales semicirculares y órgano de otolitos y, finalmente, por la visión. De todas estas informaciones periféricas, solamente la visión es independiente de la acción de las aceleraciones. Las restantes son incapaces de distinguir la aceleración debida a la fuerza de la gravedad y las originadas por otra causa. De aquí que sea fácil la "ilusión engañosa" en el no entrenado cuando se ve sometido a diversos tipos de aceleraciones. Además, como estos órganos son zonas reflexógenas de primera importancia en los mecanismos de equilibración; se originan a su nivel una serie de estímulos que dan respuestas motoras inadecuadas generalmente, y muchas veces peligrosas. Algunos ejemplos son especialmente demostrativos a este respecto. Cuando se inicia un viraje cerrado perfecto, a la fuerza de la gravedad se añade la centrífuga originada por la maniobra. Hay, por tanto, una sensación de aumento de peso, una impresión de subida. Por el contrario, al final del viraje, al disminuir la intensidad de la aceleración centrífuga se tiene la impresión de caída o bajada. Esta última sensación suele ser más intensa y persisten-

te, y para compensarla de un modo reflejo e inadecuado el poco experimentado tiende a llevar la palanca atrás, ganando altura al final del viraje. Cuando el avión realiza dos movimientos de inclinación lateral de la misma intensidad, pero con distinto signo y velocidad, al final de estos desplazamientos vuela en perfecta posición horizontal. Sin embargo el laberinto sólo ha percibido el desplazamiento brusco y tiende a corregir la posición engañosa.

F. Quix ha estudiado diversas respuestas motrices originadas durante el vuelo, señalando lo inadecuado que resulta muchas veces este mecanismo reflejo para la normalidad y aun seguridad del vuelo. Muchos accidentes son imputables precisamente a estas irresistibles tendencias motrices. En un viraje brusco a la derecha, el piloto debe extender la pierna derecha empujando el palomier, e inclinar la palanca al mismo lado. Reflejos de origen vestibular tienden a llevar los miembros superiores hacia la izquierda (reacción inadecuada). Para realizar un picado debe llevarse la palanca hacia delante, mediante un movimiento de extensión de los miembros superiores. Una vez iniciado el descenso, reflejos originados en el utrículo tienden a exagerar la extensión de los brazos y por ello la intensidad del picado de un modo inconsciente e involuntario.

Como se comprende, todas estas ilusiones sensoriales y respuestas motrices pueden ser eliminadas mediante la educación y adecuada interpretación de los datos proporcionados por los aparatos de a bordo. Sin embargo, tienen una gran importancia en el vuelo sin visibilidad, nocturno, entre nubes, etc.

Factor individual y principios de selección.

No todos los individuos están igualmente capacitados para soportar las aceleraciones. Son más resistentes aquellos que poseen un aparato cardiovascular de amplia y rápida capacidad de adaptación con buena tonicidad y elasticidad. Por el contrario, los hipotensos y estigmatizados vegetativos son muy sensibles, y ya en condiciones de normalidad están expuestos a trastornos funcionales de su mecánica circulatoria. La bue-

na tonicidad de las paredes abdominales aumenta la resistencia, quedando disminuida por la flacidez de las mismas o las grandes cicatrices laparotómicas. Los individuos altos, longilíneos y linfáticos no resisten bien las aceleraciones, mientras que los de baja estatura y proporcionado desarrollo muscular las soportan mejor. El tabaco, el nervosismo, la fatiga operacional, y la falta de sueño disminuyen muy notablemente la resistencia.

Siendo variable la resistencia individual a las aceleraciones, es evidente que una rigurosa selección dará como resultado un máximo de rendimiento con un mínimo de riesgos y molestias.

No hay un tipo constitucional que sea especialmente apto para el vuelo. Las tipologías clásicas de Krechmer, Pende, Viola y otros tienen aquí una utilidad muy relativa. De más aplicación parece la de Sigaud, y de ésta, los tipos cardiovascular y respiratorio reúnen las características más favorables. Más útil que la clasificación tipológica es la determinación individual de las características funcionales del sistema de aporte de oxígeno y su capacidad de adaptación, en especial por lo que se refiere al aparato cardiovascular.

Son múltiples las pruebas que en clínica se utilizan para la exploración del aparato circulatorio. No es este lugar ni momento oportuno para su detenida exposición, sin embargo, puede ser interesante señalar algunos tests cardiovasculares frecuentemente utilizados en los Institutos de Medicina Aeronáutica. De bastante utilidad y fácil realización, por lo sencillo del material exigido, es el test de la "mesa basculante", de Schubert. Para su realización solamente se requiere una mesa que pueda tomar diversas inclinaciones girando sobre un eje horizontal. Colocado y sujeto convenientemente el individuo a estudiar, se inclina la mesa 75 grados, con la cabeza hacia abajo, pasado cierto tiempo y con rapidez se inclina la mesa 75 grados sobre el horizonte en sentido inverso. Las sensaciones subjetivas, las alteraciones de conciencia, tensión arterial, pulsaciones, etc., variables de un individuo a otro dan una idea de la capacidad de adaptación.

Estudios muy interesantes son los que se