

Entrenamiento en centrífuga humana

ANGEL VIEIRA DE LA IGLESIA
Teniente Coronel de Aviación

FRANCISCO RIOS TEJADA
Capitán Médico del Aire

EMPEZAMOS a escribir estas notas, cuando hace solo escasos días volvíamos de Holanda, donde en el Centro Nacional de Medicina Aeroespacial y División Aeromédica de la Fuerza Aérea Holandesa, habíamos sido participantes directos en un programa de entrenamiento dirigido especialmente a aquellos pilotos, tripulantes de F-18, F-16 y F-15 o que estuvieran en período de adaptación a estos nuevos sistemas de armas.

Dicho entrenamiento ha sido una auténtica experiencia, tanto por la metodología empleada como por los medios, y fundamentalmente nos referimos al medio sobre el que va a "girar" este artículo, que es la Centrífuga Humana (C.H.).

ANTECEDENTES

Hay que remontarse al año 1938, cuando Sir Frederick Banting junto con W.R. Franks diseñan la primera centrífuga operacionalmente conocida en el mundo occidental, se localizó en Toronto y fue precisamente en ella donde el Dr. Franks experimentó el primer traje anti-G. (1) (véase Figura 1).

Armstrong y Heim en Estados Unidos y Von Diringshofens en Alemania fueron pioneros en este área durante los años previos a la II Guerra Mundial, aunque las centrífugas empleadas lo fueron principalmente para experimentación. Italia, Rusia y Japón también pusieron en esos años de similar material.

En 1942 y diseñada por E.J. Baldes se construye en la famosa Clínica Mayo de Minnessota una Centrífuga Humana, principal pieza del nuevo Laboratorio de Aceleración dentro de la Unidad de Medicina de Aviación. La todavía utilizada "maniobra M-1" debe su nombre a la Clínica Mayo, donde se estudió y utilizó por vez primera. (2)

En la actualidad, países como Canadá, Francia, Italia, Suecia, Yugoslavia, Inglaterra y Alemania Federal disponen de Laboratorios de Biodinámica con Centrífuga Humana, pero hasta ahora su utilización ha sido encaminada fundamentalmente hacia la investigación. La Lutwaffe mantiene un Programa de Entrenamiento en el que ha participado la Fuerza Aérea Israelita, aunque por problemas técnicos su óptima operatividad aún no ha sido alcanzada.

A lo largo de la década de los 70, Sydney Leverett utilizando la C.H. de la USAFSAM estandariza la maniobra denominada "L-1", como método ideal para mejorar la tolerancia a las aceleraciones. (3)

Solo dos países, Estados Unidos y Holanda, mantienen un completo programa de Entrenamiento en C.H., el primero exclusivamente para sus pilotos y en el caso de Holanda, ha brindado la posibilidad de entrenamiento a países de su entorno geopolítico.

Alguien se preguntará por qué solo éstos dos países han iniciado un programa de este tipo. En primer lugar por las características de la propia centrífuga cuyo "onset rate" es superior a la de otros países, 3.5 G/seg. (Holanda) y 6 G/seg. (U.S.A.); bien es sabido que una de las características de las aeronaves denominadas "High Performance" es precisamente su onset rate, 9 G/seg. el F-16 y limitado a 7.2 G/seg. en el EF-18. En segundo lugar fueron precisamente estos dos países los primeros en dotar a sus Fuerzas Aéreas con este tipo de aviones.

En 1983, la C.H. situada en la Escuela de Medicina Aeroespacial de la USAF, es mejorada en relación a sus características operativas y técnicas, empezando al año siguiente un programa de Entrenamiento encaminado a las unidades dotadas de material F-16 y F-15.

Respecto a la C.H. Holandesa, es en el año 1979 cuando se mejoran sus características técnicas, comenzando a estar plenamente operativa en agosto de 1983. En ella han sido entrenados unos 1.500 pilotos pertenecientes a las Fuerzas Aéreas Norteamericanas en Europa (USA-FE), Fuerza Aérea Holandesa, Belga, Danesa, Canadiense, Griega, Española y recientemente Noruega y Emiratos Arabes.

Pero, ¿por qué la necesidad de este tipo de entrenamiento?

Es de general conocimiento, la capacidad para generar G's por parte de las aeronaves denominadas de altas características; su diferencia con otros cazas, es que éstos son capaces de alcanzar unas ace-

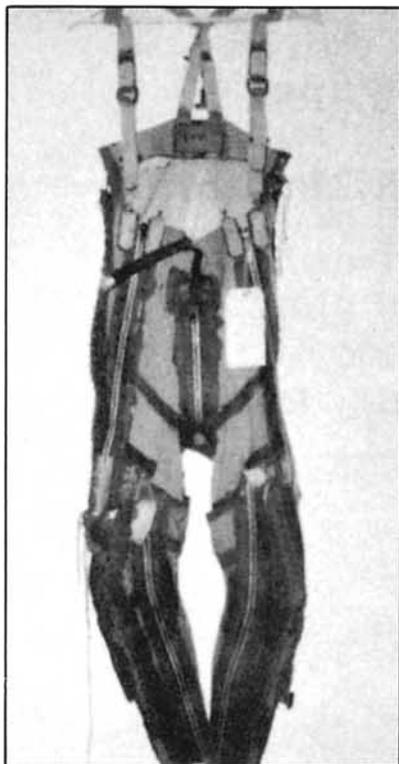


Figura 1. Primer traje anti G, diseñado por el canadiense W.R. Franks.

laciones radiales muy altas y además la mantienen. Con ello superan el límite de tolerancia fisiológica del hombre. (4)

Se trata por tanto de mejorar o incrementar la capacidad del hombre para soportar aceleraciones denominadas Gz, es decir, en el plano longitudinal y con la fuerza centrífuga dirigida hacia los miembros inferiores.

Existen varios medios para conseguir una mayor tolerancia a las aceleraciones (véase Cuadro 1), aquí vamos a insistir en uno de ellos, la Centrifuga Humana. (5)

CARACTERISTICAS

Nos vamos a referir concretamente a alguna de las características de las instaladas en el Centro Nacional de Medicina Aeroespacial Holandés (véase Figura 2).

Esta consiste en una góndola suspendida por dos puntos, uno anterior y otro posterior unido a un brazo giratorio soportado por un eje central, permitiendo su giro completo en el plano horizontal. La posibilidad de balanceo por parte de la góndola, hace que la exposición del piloto, situado en el interior de la misma, lo sea a una fuerza centrífuga en sentido cráneo-caudal.

El motor que incorpora es eléctrico.

La velocidad necesaria para alcanzar una determinada aceleración radial estará en función de la longitud del brazo.

El interior de la góndola dispone de un asiento tipo ACES II, que permite situar el respaldo en el ángulo correspondiente al tipo de aeronave (20° en el EF-18 y 30° en el F-16) (véase Figura 3).

La disposición de la palanca de mando en este caso es lateral y su mecanismo de acción mediante presión sobre la misma.

El sistema de inflado del traje anti-G es mediante una válvula de alto flujo.

Una videocámara recoge en todo momento la imagen del entrenado.

Dos luces verdes situadas a las 10 y a las 2, sirven de referencia al piloto para detectar la presencia de pérdida de visión periférica o visión tunel (síntomas previos a una posible pérdida de conciencia).

Una pantalla nos indica la posición del horizonte y al mismo tiem-

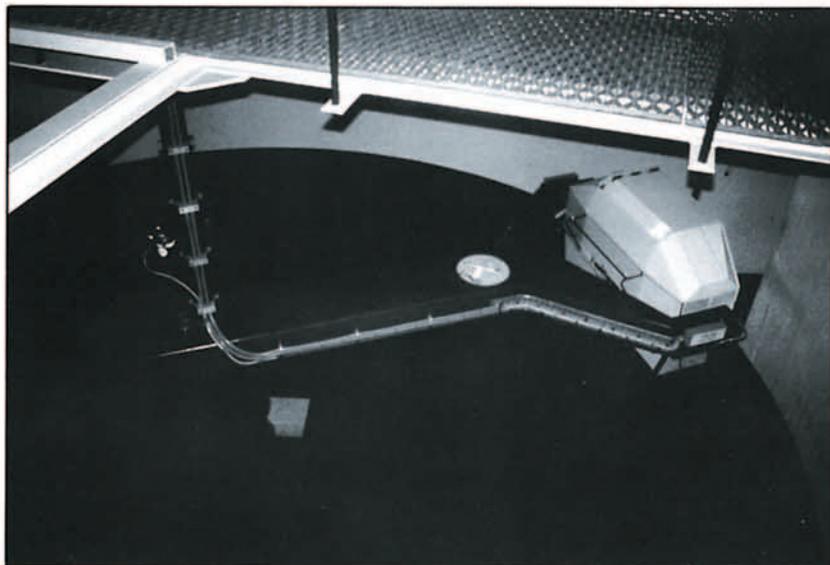


Figura 2. Centrifuga Humana instalada en el Centro Nacional de Medicina Aeroespacial de Holanda.

Cuadro 1. Medios de protección frente a las aceleraciones Gz sostenidas

- Contracción muscular
- Maniobra de Valsalva
- Respiración Presión Positiva/Mezcla de gases
- Entrenamiento Físico
- Posición del asiento
- Traje anti-G
- Entrenamiento en Centrifuga Humana

po, mediante un sistema similar a un videojuego, permite el control por parte del propio piloto del perfil de vuelo programado.

El sistema de parada es doble, puede realizarse desde el interior de la góndola, mediante la suelta de un botón que debe mantenerse siempre presionado para que funcione la C.H. o accionando el gatillo de la palanca de mando. También puede realizarse desde el panel de control exterior.

Durante todo momento se monitoriza electrocardiográficamente al



Figura 3. Configuración del asiento situado en el interior de la góndola de la Centrifuga Humana.

piloto como medida de seguridad, siendo registrado durante todas las fases del entrenamiento y bajo supervisión médica directa.

BASE FISIOLÓGICA

Durante la aceleración positiva en el eje longitudinal, el peso del cuerpo y fluidos en su interior aumenta; ello hace que el contenido sanguíneo tienda a desplazarse hacia los miembros inferiores, donde el sistema venoso por su elasticidad es capaz de almacenar hasta 2 litros de sangre, que son materialmente robados de la masa sanguínea total. Ello origina un déficit de perfusión cerebral, dando lugar a los síntomas por todos conocidos de visión gris, visión túnel, visión negra o incluso pérdida de conocimiento.

La distancia desde el corazón al cerebro es de aproximadamente 30 cm., la presión hidrostática correspondiente es de unos 22 mmHg. Si la presión arterial a nivel del corazón es de unos 100 mmHg., a nivel cerebral es de 100-22 mmHg., en condiciones normales. (6)

Por cada G adicional la presión se reduce a nivel cerebral en otros 22 mmHg.; esto podría hacer pensar que a 4Gz no habría flujo sanguíneo cerebral, la realidad es que el organismo pone en marcha mecanismos de compensación que hacen que la aparición de síntomas visuales (visión gris) en tripulantes no protegidos con traje anti-G oscile entre los 3 a 5 Gz. (7)

Vemos entonces que los efectos más importantes van a estar condicionados por la disminución de la presión arterial necesaria para mantener un adecuado flujo cerebral y el desplazamiento de una gran masa sanguínea en sentido craneocaudal.

Ello ha de ser contrarrestado de alguna forma si no se quiere llegar a la situación antes descrita (pérdida de conocimiento). Para ello vamos a utilizar dos medios que se apoyan mutuamente, para conseguir el efecto más óptimo. (8)

1) Aumentar la presión intratorácica.

2) Contracción de la musculatura, fundamentalmente de las piernas, muslos, abdomen, tórax, brazos y antebrazos. Esto se ve favorecido con la acción del traje anti-G, cuyo fundamento no es otro que evitar

en lo posible el desplazamiento de una gran masa sanguínea a las extremidades inferiores.

TECNICA MANIOBRAS ANTI-G

La técnica de realización de ambas maniobras está perfectamente estandarizada y su correcta ejecución es el principal objetivo de la utilización de la Centrifuga Humana. (9) Está basada en tres principios fundamentales:

1. Maniobra respiratoria (Valsalva). Tiene dos modalidades denominadas M-1 o L-1. Su diferencia está en que con la primera la glotis permanece parcialmente abierta, emitiendo un cierto ruido; en la segunda, la glotis permanece totalmente cerrada, por tanto no se emite ningún ruido. Esta última en nuestra opinión es más recomendable, por ser más simple su ejecución y no dañar las cuerdas vocales.

Vamos a describir la maniobra L-1:

a) Coger aire profundamente con la boca.

b) Cerrar la glotis. Acción muy simple y que realizamos de forma refleja, cuando nos zambullimos en una piscina.

c) Mantener el aire atrapado en la cavidad torácica durante tres segundos.

d) Expulsar el aire de golpe, bruscamente, durante un segundo y comenzar de nuevo la maniobra.

2. Contracción muscular. Al mismo tiempo que se inhala con la boca, se debe comenzar a contraer toda la musculatura de las piernas, muslos, abdomen, brazos y antebrazos. Esta contractura debe mantenerse durante todo el tiempo en que se están sosteniendo G's, sobre todo si es un régimen superior a 5 ó 6 G's.

3. Tiempo. Mantener el ritmo respiratorio durante 3 segundos, expulsando el aire en un segundo y comenzando de nuevo. No olvidar mantener la musculatura contraída. Este segundo de fase espiratoria e inspiración profunda, permite una ventilación continuada y un corrector retorno venoso.

Como indicábamos antes, este tipo de maniobras con ser muy eficaces, pierden parte de sus efectos beneficiosos si no se complementan con el traje anti-G. Este debe ajustarse perfectamente, un

traje olgado pierde la funcionalidad para la que fue diseñado. Naturalmente las vejigas de goma no pueden tener pérdidas y los plazos de caducidad del material han de ser respetados.

Si observamos la Figura 4 comprobamos como la aparición de síntomas y pérdida de conciencia responde a una curva que separa dos grandes áreas, una sintomatológica y otra sin síntomas. (10) Colocada sobre un plano XY, en abscisas colocamos tiempo en segundos y en ordenadas número de G's (Gz).

Ello nos habla de como aceleraciones altas pero de muy corta duración, son fácilmente soportadas por el organismo no originando sintomatología alguna (Flecha A); sería el caso del escape asistido de una aeronave (eyección), en la que se pueden alcanzar hasta 30 G's pero en una fracción de segundo. Esto ocurre gracias a la reserva de Oxígeno que poseen las células cerebrales y que permiten un intervalo libre de 5 segundos.

Si conseguimos un elevado número de G's y los mantenemos, sucedería lo expresado por la Flecha B, es decir en 5 segundos nos situamos en el área de pérdida de conciencia.

Entre los 4 y 6 G's se sitúa el área de aparición de síntomas visuales (visión gris, visión túnel y visión negra).

El efecto de las medidas descritas en el Cuadro 1 (en general y sobre todo las maniobras de contracción muscular, maniobra respiratoria y traje anti-G), es el de elevar la curva descrita en la Figura 4, incrementando la tolerancia total en aproximadamente 4-5 G's (véase Figura 5). Este hecho se demuestra ampliamente durante el desarrollo del entrenamiento en C.H.

Hay que señalar que no es recomendable realizar este tipo de maniobras, si no es manteniendo G's positivos.

OBJETIVOS

Volviendo a la experiencia vivida durante el entrenamiento desarrollado en Soesterberg (Holanda), pensamos se han cumplido los objetivos señalados en el briefing previo al mismo, es decir:

- Conocimiento de la Fisiología y problemas desencadenados por la exposición a las aceleraciones.

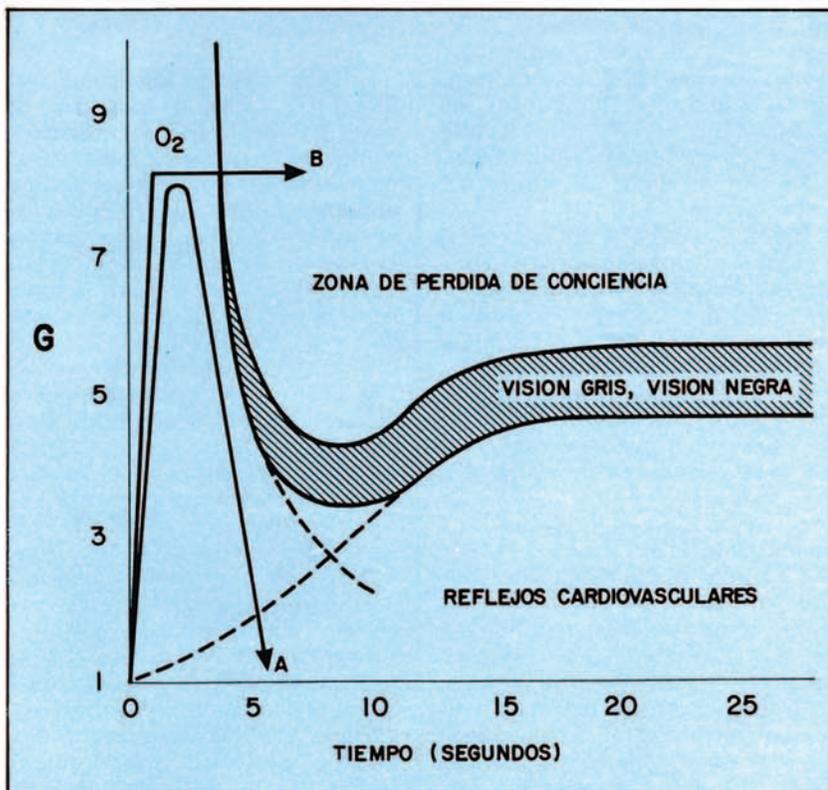


Figura 4. Curva de Tolerancia a las aceleraciones.

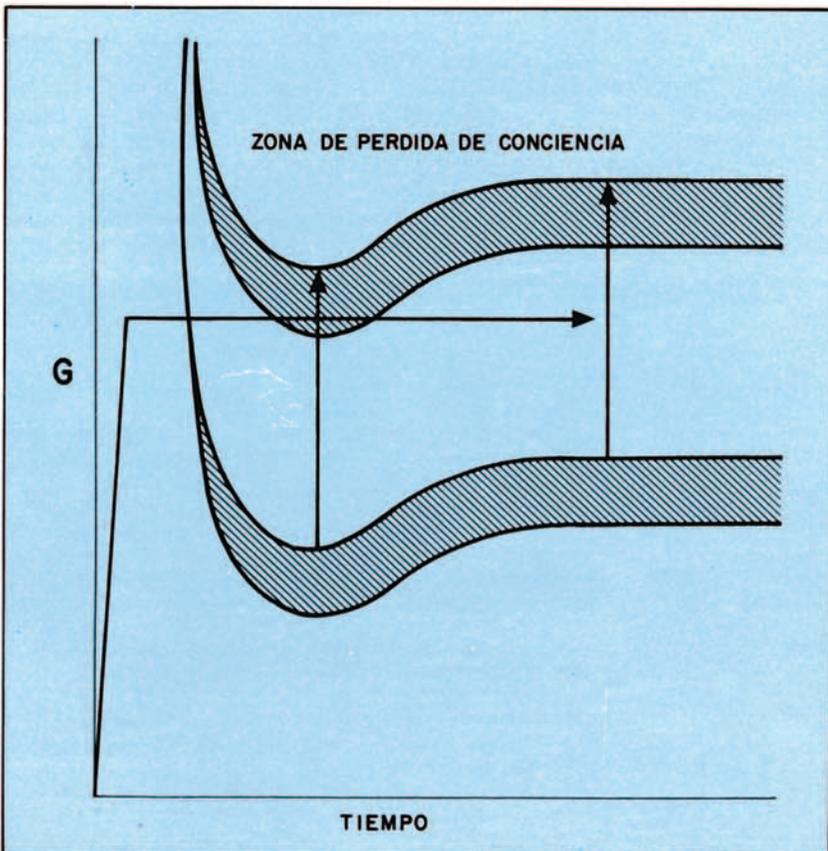


Figura 5. Efecto de las maniobras respiratoria y muscular sobre la tolerancia a las aceleraciones + Gz.

- Experimentar nuestra propia tolerancia.
- Desarrollar y perfeccionar una técnica para mejorar dicha tolerancia.
- Confianza y seguridad.

PROGRAMA

Todo ello se ha conseguido gracias a un programa teórico-práctico muy bien desarrollado y que lógicamente está apoyado en una enorme experiencia.

El programa y perfiles seguidos fue el siguiente:

1°. Bienvenida en la División Aero-médica de la Fuerza Aérea Holandesa.

2°. Briefing sobre los aspectos generales del Entrenamiento en Centrifuga Humana.

a) Visualización de video. Conceptos y bases fisiológicas.

b) Familiarización con los procedimientos y Centrifuga.

c) Perfiles a realizar.

d) Técnica maniobra L-1.

3°. Finalizado este primer bloque teórico, nos dirigimos al Centro Nacional de Medicina Aeroespacial, donde se localiza la propia centrifuga. Allí se procede a:

a) Ajustar el traje anti-G.

b) Comprobar la monitorización médica (Electrocardiograma).

c) Daba comienzo del entrenamiento.

4°. Desarrollo:

Diariamente se han entrenado un máximo de 6 pilotos, realizando los siguientes perfiles.

1°. Perfil de Demostración.

— onset rate: gradual 1G/10 seg.

— traje anti-G no conectado.

— dirigido por ordenador.

— máximo 9 G's.

2°. Perfil de Acomodación.

— onset rate: 1G/seg.

— traje anti-G conectado.

— dirigido por el propio piloto.

— 6G/30 seg.

— casco y máscara de oxígeno.

3°. Perfil de Tolerancia Standard.

— onset rate: 1G/seg.

— traje anti-G conectado.

— dirigido por el propio piloto.

— 8G/15 seg.

— casco y máscara de oxígeno.

4°. Perfil de Combate.

— onset rate: 3.5G/seg.

— traje anti-G conectado.

— dirigido por el propio piloto.

— 9G/10 seg. — 4G/5 seg. —

— 8G/10 seg.

— casco y máscara de oxígeno.

Finalizado el entrenamiento propiamente dicho, recibíamos un "debriefing" en el que se hacían los comentarios oportunos a las imágenes obtenidas durante la ejecución de cada uno de los perfiles.

Todo el personal entrenado se ha destacado por su alta capacidad de aprendizaje y puesta en práctica de las técnicas respiratorias y de contracción muscular, cumpliendo ampliamente los objetivos marcados por los instructores.

Hay que señalar la reconocida importancia de esta experiencia, expresada por el propio personal entrenado, añadiendo un elemento importante a la seguridad de vuelo.

Pero la C.H., solo constituye un medio y por ahora el único para situar al entrenado en disposición de aprender o mejorar una técnica que fundamentada en unas bases fisiológicas claras va a completar el otro gran medio diseñado para aumentar esta tolerancia, hablamos del traje anti-G.

CONSEJOS PRACTICOS

Finalmente queremos mencionar algunos consejos básicos que nos van a ayudar a incrementar y mantener la predisposición más óptima para tolerar aceleraciones Gz.

1) Adecuada forma física, mediante la combinación de ejercicios de tipo aeróbico (jogging), 2-3 veces por semana y menos 4-5 días por semana. (11)

2) Mantener un buen estado de

hidratación antes del vuelo. Beber agua o zumos sobre todo en los meses veraniegos. Quince minutos en el interior de la cúpula, en agosto y en Madrid, por ejemplo, puede suponer una pérdida de hasta 1 litro de agua (sudoración y perspiración). (12)

3) Prestar debida atención hacia enfermedades intercurrentes, una diarrea puede suponer una pérdida añadida de líquidos. Un simple síndrome gripal, disminuye importantemente la tolerancia.

4) Hacer un buen desayuno, volar el primer período en una situación hipoglucémica, puede ser realmente peligroso. Abstenerse del típico "café solo".

5) Evitar cualquier tipo de automedicación. (13)

6) Evitar bebidas alcohólicas previas al vuelo. (14)

7) Comprobar siempre que el traje anti-G está ajustado correctamente.

8) Tratar que la realización de una correcta maniobra respiratoria y contracción muscular, sea algo realizado espontáneamente y proporcional a la aceleración mantenida. El entrenamiento en Centrifuga supone solo el aprendizaje o perfeccionamiento de una técnica, el desarrollo de la misma corresponde al propio piloto mediante la práctica diaria en vuelo real.

9) Se observa una disminución de la tolerancia después de un intervalo libre sin volar, por ejemplo después de un período vacacional.

PERSPECTIVAS FUTURAS

La utilización de válvulas de alto flujo que incluyen una fase de preinflado del traje anti-G y llenado rápido del mismo, controlado electrónicamente por la información aportada al ordenador principal del avión, supone una capacidad de respuesta mucho más rápida y que evita el desplazamiento de la masa sanguínea en los momentos iniciales de la aceleración. (15)

El empleo de respiración a presión positiva (PPB), en combinación con el traje anti-G de preinflado y llenado rápido se ha demostrado como un procedimiento útil para elevar la presión intratorácica. Durante PPB se incrementa la presión sanguínea cerebral y retiniana, disminuyendo la fatiga muscular que acompaña a las maniobras de contracción y Valsalva. Ofrece por tanto las ventajas de ser automático su funcionamiento y reducir el esfuerzo muscular. Está demostrada su eficacia hasta un máximo de 50 mmHg. de presión, asegurando al menos 2G de protección. Para su utilización es necesario el empleo de medidas de contrapresión torácica, mediante los denominados chalecos de presión. (16)

Otras medidas de protección, como puede ser el diseño e inclinación del asiento o la utilización de detectores para tratar de determinar y contrarrestar con antelación una posible pérdida de conciencia, están aún en fase experimental. (17) ■

BIBLIOGRAFIA

(1) Engle E. and Lott A. Man in Flight. Biomedical achievements in Aerospace Medicine. Leeward Publ. INC. 1979, MD.

(2) Benford R.J. The heritage of Aviation Medicine. Aerospace Medical Association. Washington D.C. 1979.

(e) Shubrooks, S.J. and S.D. Leverett Jr. Effect of the Valsava maneuver on tolerance to Gz acceleration. J. Applied Physiol. 34: 460-466, 1973.

(4) Alonso C., Carretero A. El hombre a altas aceleraciones. JANO, 615: 51-55, 1984.

(5) Burton R.R., Leverett S.D. Jr., & Michaelson E.D. Man at high sustained + Gz acceleration: a review. Aerospace Med. 45 (10): 1115-1136, 1974.

(6) McNaughton G.B., Gillingham K.K. G-induced Loss of Consciousness. Flying Safety. April 1983.

(7) Ernsting J. and King P. Aviation Medicine. 2nd. Ed Butterworths. Boston, 1988.

(8) Roy L. DeHart. Fundamentals of Aerospace Medicine. Lea & Febiger. Philadelphia, 1985.

(9) Tesch P.A., H. Hjort & U.I. Balldin. Effects of strength training on G tolerance. Aviat. Space Environ. Med. 54 (8): 691-695, 1983.

(10) Leverett S.D. Jr., R.R. Burton, R.J. Crossley, E.D. Michaelson

& S.J. Shubrooks Jr. Human physiologic responses to high sustained + Gz acceleration. USAFSAM. TR-73-21, 1973.

(11) Alonso C. Ejercicios físicos para aumentar la tolerancia a las aceleraciones. Revista Aeronáutica y Astronáutica. Agosto 1986.

(12) Balldin U.I., Sporrang A. & Tech P.A. Rehydration and G-tolerance psychomotor performance and muscle function. Abstract. Aerospace medical Association Meeting. Aviat. Space & Environ. Med. 55, 467, 1984.

(13) Shubrooks S.J. Jr. Changes in cardiac rythm during sustained high levels of positive (+ Gz) acceleration. Aerospace Mmed. 43: 1200-1206, 1972.

(14) Burton R.R. and J.L. Jaggars. Influence of ethyl alcohol ingestion on a target task during sustained + Gz centrifugation. Aerospace Med. 45: 290-296, 1974.

(15) Burton R.R., Shaffstall R.M. & Jaggars J.L. Development test and evaluation of advanced anti-G valve for the F-15. Aviat. Space Environ. Med. 51, 504-509, 1980.

(16) Domaszuk J. The application of positive pressure breathing for improving + Gz acceleration tolerance. Aviat. Space & Environmental Med. 54: 33-337, 1983.

(17) Whinnery J.E., Glaister, D.H. & Burton R.R. + Gz induced loss of consciousness and aircraft recovery. Aviat. Space Environ. Med. 58: 600-603, 1987.