

Altas aceleraciones en aviación de combate

ENTRENAMIENTO EN *centrífuga humana* DE ÚLTIMA GENERACIÓN

CÉSAR ALONSO RODRÍGUEZ
Coronel Médico

ENTRENAMIENTO EN CENTRÍFUGA HUMANA. COMIENZO Y EVOLUCIÓN

Siguendo el ejemplo de otras naciones, desde el año 1985 a raíz de la incorporación a nuestras unidades aéreas de los aviones de combate F-18, considerados de alta maniobrabilidad, con capacidad de generar y de mantener fuerzas G de forma más rápida que los reactores de generaciones previas (F-1, F-4) se incorporó a los pilotos de reactores del Ejército del Aire a un programa de entrenamiento a altas aceleraciones. Previamente el entrenamiento en ambiente de fuerzas G, se limitaba al vuelo real en aviones con factores de carga limitado (C-101, F-5). Al no disponer de centrífuga humana en el CIMA, se seleccionó la recién construida en el Centro de Medicina Aeronáutica de la Real Fuerza Aérea holandesa situado en Soesterberg. Estos veintidós años de entrenamiento en centrífuga han dado resultados positivos, como lo demuestra la no constancia de accidentes ni de incidentes aéreos serios en

este tiempo como consecuencia de altas fuerzas G. La reciente incorporación del EF-2000 (C-16), perteneciente a la cuarta generación de aviones reactores de combate, con capacidad de generar altas aceleraciones con una velocidad

cidad de comienzo superior a la reproducida por la centrífuga holandesa (con un onset rate superior a 10 g/seg², frente al máximo de 3,5 g/seg² de la centrífuga de Soesterberg) nos ha llevado este año a elegir unas nuevas instalaciones con el objeto de optimizar la preparación de nuestros pilotos, adecuando su entrenamiento a los factores de carga generados en vuelo real, con objeto de mejorar la eficacia de las nuevas armas aéreas y la seguridad de las operaciones.

Para lograr estos objetivos se estimó que la centrífuga humana localizada en la División de Fisiología Aeronáutica del Centro de Medicina Aeronáutica de la Luftwaffe situada en Königsbrück, era el lugar más idóneo, por reunir los objetivos de entrenamiento, tras sufrir una profunda reforma que concluyó en el año 2006, aumentando sus capacidades y su seguridad operativa. En la figura 1 se resume la evolución cronológica de la aviación de combate reciente en nuestro Ejército del Aire y las necesidades que implica en materia de entrenamiento en centrífuga humana.

CARACTERÍSTICAS DE LA CENTRÍFUGA HUMANA DE KONIGSBRUCK

La centrífuga humana de Königsbrück, localidad situada en la proximidad de Dresde, Alemania, perteneciente al Centro de Simulación de Vuelo de la División de Fisiología Aeronáutica de-



pendiente del Centro de Medicina Aeronáutica de la Luftwaffe. Construida en 1986 en territorio en la antigua República Democrática Alemana ha sufrido una profunda transformación desde el punto de vista mecánico y electrónico entrando en servicio en abril del 2006 con las siguientes características: Longitud del brazo: 9,50 metros. Velocidad de generación de G (onset-rate) superior a 10 g/segundo. Límites: Aceleración longitudinal: de -3Gz a +15 Gz, Aceleración lateral: de -3 Gy a +3Gy, Aceleración transversa: de -15 Gx a +15 Gx con un pico máximo de energía de 5.4 MW (figura 2). Su cabina reproduce la del EF-2000 con un campo de visión de 120x 40° con pantallas HUD y HDD con control activo por el piloto desde el interior de la góndola (close loop control) (figura 3). Tiene capacidad de realizar movimientos de alabeo y de cabeceo para corregir las ilusiones somatográficas y el efecto de coriolis en el curso de la aceleración y la deceleración. La sala de operaciones de la centrífuga consta de 20 pantallas en las que se visualiza al piloto alumno y donde se

registran parámetros fisiológicos como electrocardiograma, frecuencia cardiaca y onda del pulso, parámetros del entrenamiento como modificación del nivel de aceleraciones en los tres ejes y velocidad de comienzo y de frenado (onset y offset rates) junto a parámetros de los equipos mecánicos que mueven la centrífuga, y de grabación de todos los anteriores, actividades que precisan de la presencia constante de al menos siete personas (figura 4).

CARACTERÍSTICAS DEL ENTRENAMIENTO EN CENTRÍFUGA HUMANA

Durante los meses de septiembre y octubre del año 2007, los alféreces alumnos del 96 Curso de Caza y Ataque han realizado por primera vez el entrenamiento en la centrífuga humana en las citadas instalaciones de Königsbrück (figura 5).

El entrenamiento en la centrífuga de Alemania tiene una duración de dos días para cada grupo de seis alumnos en los que tras instruirles en las maniobras de contracción muscu-

lar y las técnicas de respiración, realizadas en un simulador estático construido a tal efecto en el que se refleja la modificación grafica del pulso recogido a nivel del dedo, en función de la técnica realizada (figura 6). Cada uno de ellos accede a la góndola al menos cuatro veces distintas, de las que tres de ellas es manejada como un simulador dinámico de vuelo, con los siguientes perfiles:

—Perfil 1. Perfil de familiarización, con exposición gradual a fuerzas Gz hasta +3Gz. Posteriormente evaluación de la tolerancia natural individual a las Gz con incremento gradual a 0.1 G/segundo (figura 7).

—Perfil 2. Entrenamiento básico activo. Se selecciona individualmente el perfil en función de los resultados del perfil previo. En sucesivas vueltas en la centrífuga, se aumenta progresivamente el nivel de G y la velocidad de generación de las mismas. Algunos de los perfiles típicos son: aumento de 1,4 a 4,5 Gz a 1g/seg., aumento de 1,4 a 6 Gz a 3 g/seg. y de 1,4 a 7 Gz a 6 g/seg (figura 8). El propio alumno controla la rapidez y el grado de desplazamiento de la pa-

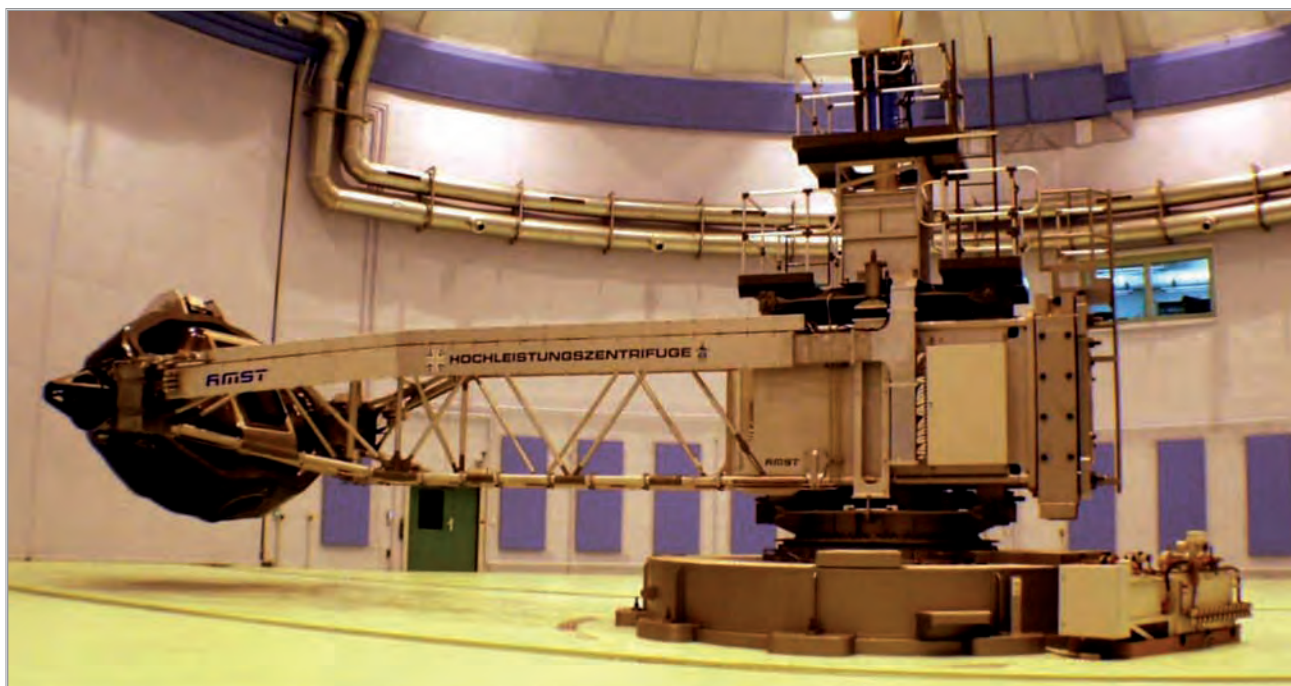


Figura 2. Características de la centrífuga humana de la Luftwaffe en Königsbrück, Alemania.
Longitud del brazo: 9,50 metros
Velocidad de generación de G (onset-rate): superior a 10g/segundo

Aceleración longitudinal: de -3Gz a +15 Gz
Aceleración lateral: de -3Gy a +3Gy
Aceleración transversa: de -15Gx a +15Gx
Máximo de energía de 5.4 MW.



Figura 3. La góndola de la centrífuga reproduce la cabina del EF-2000 con un campo de visión de 120 x 40° con pantallas HUD y HDD con control activo por el piloto.

lanca regula el nivel de carga y la velocidad con que se genera. El límite a ambos se ajusta en cada perfil de entrenamiento desde la sala de operaciones de la centrífuga.

—Perfil 3. Entrenamiento avanzado activo. Cualificación para el Stanag 3827. Se realizan vuelos acrobáticos y de combate libres con capacidad de generar altas aceleraciones de forma sostenida y con amplias variaciones de rápida intensidad, con límites preestablecidos de +7Gz con incremento de 2 G/seg (figura 8).

—Perfil 4. Vuelo interactivo. El alumno sentado en la cabina de la centrífuga una vez familiarizado con ella a través de los perfiles previos, vuela tratando de interceptar un objetivo aéreo preprogramado o manejado por otro alumno desde la consola central. Durante las maniobras de combate deben ejercitar las técnicas aprendidas en perfiles previos. Los límites de este perfil de entrenamiento son de +7Gz con incremento de 2 G/seg.

—Personal entrenado: 18 pilotos alféreces alumnos del actual curso de Caza y Ataque 16 hombres y 2 mujeres, con una experiencia de 150 horas de vuelo. El entrenamiento se realizó en tres grupos de 6 pilotos alumnos, el último de los cuales había realizado varias horas de vuelo en F-5 (figura 5). Se evaluó individualmente la aparición de signos clínicos y se realizó un cuestionario anónimo, para valorar el tipo e intensidad de los sín-

tomas. Se realizó un estudio estadístico utilizando el programa SPSS, versión 15.

Evaluación de la tolerancia natural a las fuerzas Gz.

Se realizó con cada alumno en la centrífuga con aumento gradual y progresivo a 0,1 G/seg. Con el anti-g desconectado y sin realizar maniobras de contracción muscular. El propio alumno detenía la centrífuga cuando ya presentaba síntomas visuales y consideraba alto el riesgo de pérdida de conocimiento.

- La tolerancia media fue de +4,82 \pm 0,76 Gz.
- El alumno con superior nivel de tolerancia alcanzó +6,60 Gz.

Evaluación cualitativa y cuantitativa de los síntomas visuales

Los principales síntomas visuales, consecuencia de la falta de riego de la retina, son:

- Visión gris o visión borrosa global que afecta simultáneamente a visión central y periférica con reducción de la sensibilidad al contraste. Refirieron experimentarla 17 de los 18, correspondiente al 94,4%.
- Visión túnel. Reducción concéntrica de los campos visuales con conservación de la visión central y pérdida de la visión periférica, con la incapacidad de poder responder a los estímulos luminosos que repercutan en la parte externa del campo visual. Fue experimentada por 15 de los 18 alumnos, correspondiente al 83,3% .
- Visión negra. Pérdida total de la visión como consecuencia de la supresión del flujo sanguíneo de la retina, mientras se conserva la conciencia y la capacidad auditiva. Ocurre a un nivel de aceleración superior al de la visión gris y precede a la pérdida de conciencia que suele tener lugar al aumentar la aceleración en 0,5 G. Refirieron experimentarla 8 de los 18, correspondiente al 44,4%.



Figura 4. La sala de operaciones de la centrífuga dispone de múltiples pantallas que permiten visualizar y comunicarse con el piloto alumno y donde se registran diferentes parámetros fisiológicos, del entrenamiento y de los equipos mecánicos de la centrífuga. Los datos son grabados. Estas funciones precisan la presencia de al menos siete técnicos bajo la dirección del oficial médico aeronáutico.



Figura 5. Alumnos del 96 curso de Caza y Ataque, los primeros del Ejército del Aire que han realizado entrenamiento en la nueva centrífuga humana de la Luftwaffe, en Königsbrück, Alemania.
De izquierda a derecha: imagen superior: Baquero, Cubillas, Sanjuan, Torres, López y R. Valderas. Imagen media: Rodríguez, Aparicio, Herrera, Jiménez, López Esteban, Regulón. Imagen inferior: Casanovés, Gimeno, Blanco, Vela, Nogales y Bernal.

- Dolor en abdomen. Referido por 8 de los 18, correspondiente al 44,44 %.

- Dolor en muslos. Referido por 13 de los 18, correspondiente al 72,22 %.

- Dolor en testículo. Referido por 1 alumno. Fue de gran intensidad y obligó a detener la centrífuga.

Los dolores en antebrazos y brazos están relacionados con el aumento de presión venosa en extremidades superiores en relación con la dificultad de retorno de la sangre venosa al tórax ante el alto nivel de Gz. El dolor cervical está relacionado con la contractura de la musculatura cervical que tiene que soportar el aumento de peso de la cabeza (unos 35 kg a 7G). Los dolores en abdomen y muslos están relacionados con el hinchado del traje anti-G.

Evaluación de la aparición de petequias y/o hematomas cutáneos como consecuencia del aumento de la presión vascular transmural a través de los capilares de la piel que puede causar trasudación de fluido e incluso rotura capilar con la producción de petequias e incluso hematomas con motivo de la exposición a altas aceleraciones en centrífuga (figura 10).

- Frecuencia: La totalidad de los alumnos en mayor o menor grado presentó petequias, y cuatro de ellos hematomas.

- Localización: En antebrazos 13 alumnos, en brazos 6, en muslos 2, en nalgas 3, en abdomen 7 y en espalda 2 alumnos.

- Duración: A las 48 horas todas las petequias desaparecieron y los hematomas estaban muy atenuados.

Evaluación del nivel de conciencia

- Hubo un caso de pérdida total de conciencia (LOC). La recuperó a los 15 segundos de detener la centrífuga. Fue seguida de un periodo de confusión de unos 30 segundos con amnesia del episodio. No presentó convulsiones como puede suceder en otros casos como consecuencia de la isquemia cerebral. Se presentó como consecuencia de realizar maniobras de contracción muscular y de respiración insuficientes.

Evaluación de la localización e intensidad de los dolores referidos por los alumnos tras la exposición a los diferentes perfiles de entrenamiento en centrífuga.

- Dolor en antebrazos. Referido por

11 de los 18, correspondiente al 61,11 %.

- Dolor en brazos. Referido por 6 de los 18, correspondiente al 30,00 %.

- Dolor cervical. Referido por 7 de los 18, correspondiente al 38,89 %.



Figura 6. Previamente a realizar los perfiles de vuelo en centrífuga se da instrucción teórica sobre las maniobras de contracción muscular (LI) y las técnicas de respiración y se comprueba su eficacia individualmente en un simulador estático mediante registro de la onda del pulso.

• Hubo un caso de casi pérdida de conciencia (descrita en medicina aeroespacial como a-LOC) fase en la que el piloto a pesar mantener el tono muscular en cabeza y cuello, no es consciente de lo que hace, se suele acompañar de pérdida de la visión, y sucede cuando la presión de perfusión a nivel cerebral desciende por debajo de 20 mm de Hg, insuficiente para perfundir los ojos pero capaz de mantener un nivel mínimo de actividad cerebral. En este caso duró unos 10 segundos y se produjo en el curso de reducción de aceleración al dejar de realizar las maniobras que le garantizan el suministro de flujo sanguíneo cerebral. Cedió al disminuir la aceleración a menos de +3 Gz.

Evaluación de presencia e intensidad de fatiga.

• 15 de los 18 alumnos refirieron fatiga. La fatiga está relacionada con la propia exposición a altas G y fundamentalmente con el gran esfuerzo

muscular realizado en el curso de las maniobras de contracción muscular y respiratoria.

Evaluación de la presencia de cine-tosis (mareos, desorientación, vértigo).

• 15 de los 18 refirieron sensación

de mareo o vértigo tras cada entrenamiento, especialmente tras el segundo y tercer perfiles. La duración en 8 de los casos que la experimentaron (53,3 %) fue superior a 15 minutos, mientras que en los 7 restantes (46,7 %) fue inferior

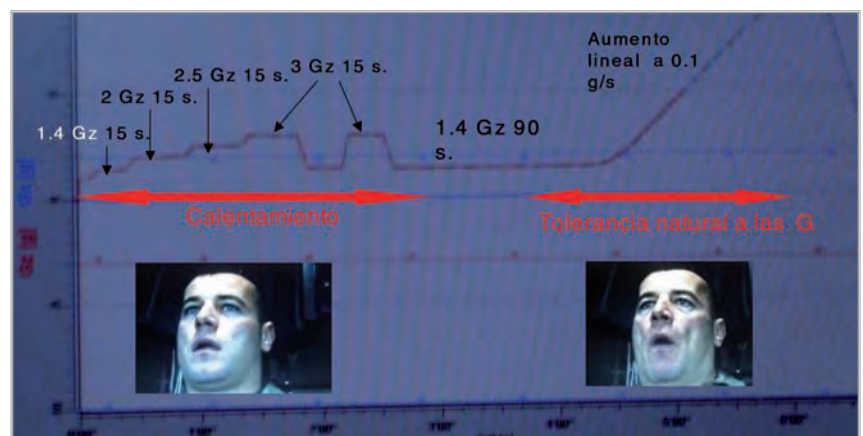


Figura 7. Perfil de familiarización, con exposición gradual a fuerzas Gz hasta +3 Gz. Posteriormente evaluación de la tolerancia natural individual a las Gz con incremento gradual a 0.1 G/segundo.

Evaluación por parte de los alumnos de distintos aspectos del entrenamiento en centrífuga, a través de cuestionario anónimo (puntuación de 1 a 10).

- Valor del entrenamiento a altas G: $9,11 \pm 0,96$
- Duración de 2 días del curso: $8,22 \pm 1,35$
- Mejora de la tolerancia personal a las G: $8,22 \pm 0,64$
- Idoneidad de los perfiles: $8,12 \pm 1,05$

G, de forma semejante a lo que sucede en vuelo real. Las capacidades y el grado de seguridad del equipo así como el número de técnicos, sanitarios y tripulantes responsables del entrenamiento es superior. Permite obtener la cualificación de aptitud para volar nuevos aviones de combate, de conformidad con el STANAG 3827.

— Los perfiles de entrenamiento son muy satisfactorios. Sin embargo se ha reducido de el nivel máximo de carga de +9 alcanzado en Holanda a

manes, debido a las dificultades técnicas y al hecho de que su implementación supondría un aumento en la incidencia de mareos y vértigos, al fluctuar el ángulo del eje corporal del piloto con respecto a la vertical.

— El aumento del incremento de fuerzas Gz sobre el piloto, ha supuesto como novedad introducir el día previo a iniciar el entrenamiento la realización en el CIMA de un estudio ecocardiográfico con objeto de descartar la existencia de prolapso valvular o de ventana oval, así como un estudio radiológico digital de columna vertebral para descartar alteraciones que pudieran agravarse en el curso de la exposición a altas aceleraciones.

— El nivel de satisfacción por parte de los alumnos pilotos ha sido muy alto, en todos los aspectos. Únicamente la fecha del entrenamiento coincidente con la incorporación a la Escuela de Caza y Ataque tras el permiso de verano fue valorada como mejorable. Esta valoración está relacionada con el hecho de que en el curso de las maniobras aéreas de combate se activan reflejos cardiovasculares que mejoran la tolerancia a las G y este acondicionamiento se pierde en parte tras periodos de ausencia de exposición a las fuerzas G.

— Los efectos secundarios son los tradicionales. No podemos establecer un estudio comparativo con los entrenamientos previos en la centrífuga humana de Holanda porque los perfiles son diferentes. En todos los casos los efectos adversos fueron transitorios.

— Los mareos y cinetosis son inferiores en el entrenamiento en Alemania que en el previo realizado en Holanda, debido a que la longitud del brazo de la centrífuga es muy superior, a la disponibilidad de un escenario simulado en una gran pantalla en la cabina y por la capacidad de movimiento de cabeceo de la góndola. También el control activo de la palanca por el alumno atenúa la aparición de desorientación espacial.

BIBLIOGRAFÍA

— Alonso Rodríguez C, López Soriano A V. *Cuarta generación de*

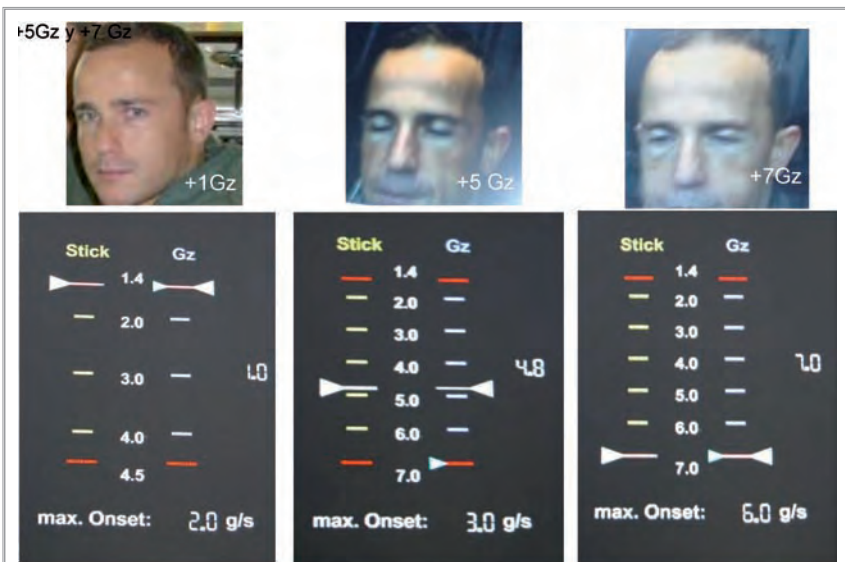


Figura 8. El propio alumno controla la rapidez y el grado de desplazamiento de la palanca de la centrífuga, regulando el nivel de carga y la velocidad con que se genera. El límite a ambos se programa en cada perfil de entrenamiento desde la sala de operaciones de la centrífuga. En la imagen se observa el desplazamiento de los tejidos blandos de la cara con motivo de la exposición a +5Gz y +7Gz.

- Nivel de las presentaciones: $8,22 \pm 1,59$
- Nivel de interés de los instructores: $9,11 \pm 1,07$

CONCLUSIONES

— Mejoría significativa del programa de entrenamiento desde el punto de vista de eficacia operativa y de seguridad. El entrenamiento en la centrífuga humana de nueva generación de la Fuerza Aérea alemana supone un salto cualitativo muy significativo con respecto al entrenamiento previo. Este laboratorio constituye un simulador dinámico específico de vuelo en el que el piloto alumno pasa de ser un sujeto pasivo a generar el mismo de forma activa en cabina las fuerzas

+7 Gz. Aunque éste último es suficiente como perfil básico para volar muchos aviones, se estima que se debería incrementar hasta al menos 8 Gz, ya que en el F-18 el factor de carga está limitado a +7,5 Gz y en el EF-2000 a +9Gz, si bien los pilotos de este último utilizan un equipo de protección de vida específico, que aumenta la tolerancia aunque también requiere un entrenamiento en centrífuga específico.

— No se considera oportuno que el incremento de aceleraciones (onset rate) de 6 G/segundo aplicado en el segundo perfil, se aplique en el curso de las maniobras de combate de los perfiles 2 y 3. A esta conclusión se ha llegado tras varios contactos con especialistas médico-aeronáuticos ale-

aviones de combate. *Implicaciones médico-aeronáuticas*. Revista Aeronáutica y Astronáutica 766: 702- 710, 2007.

—Alonso Rodríguez C. *Evolución de la aviación de combate. Un desafío progresivo a la fisiología humana*. Medicina Aeroespacial y Ambiental 15 (3): 106- 111, 2007.

—Alonso Rodríguez C. *Problemática médica en las altas aceleraciones*. Revista de Aeronáutica y Astronáutica 516: 1019-1024, 1983.

—Alonso Rodríguez C. *Medios para aumentar la tolerancia a las aceleraciones positivas*. Revista de Aeronáutica y Astronáutica 516: 1025-1030, 1983.

—Alonso Rodríguez C, Carretero Moya A. *El hombre a altas aceleraciones*. JANO Vol. 615: 51-55, 1984.

—Alonso Rodríguez C, Velasco Díaz C, Carretero Moya A. *Efecto de las altas aceleraciones sobre el hombre*. JANO 663: 1.153-1.160, 1985.

—Alonso Rodríguez C. *Ejercicios físicos para aumentar la tolerancia a las aceleraciones*. Revista de Aeronáutica y Astronáutica 548: 879-885, 1986.

—Alonso Rodríguez C, Ríos Tejada F. *Pérdida de conocimiento en vuelo*. Revista de Aeronáutica y Astronáutica 578: 240-243, 1989.

—Alonso Rodríguez C, Cantón Romero J J. *Medios actuales para evitar la pérdida de conciencia por altas aceleraciones*. Revista de Aeronáutica y Astronáutica 609: 1180-1185, 1991.

—Alonso Rodríguez C, Ríos Tejada F. *Fisiología humana en ambiente de altas aceleraciones*. Medicina Militar 48: 69-77, 1992.

—Navarro Ruiz V C, Alonso Rodríguez C. *Medicina Aeronáutica y Espacial*. Tratado de Medicina Inter-

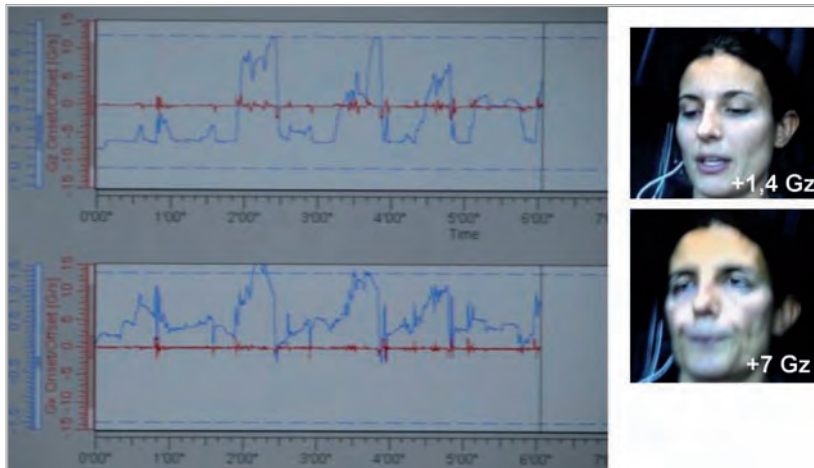


Figura 9. En el entrenamiento avanzado activo en centrífuga el alumno realiza vuelos acrobáticos y combate libre con generación de altas aceleraciones de forma sostenida y con variaciones de rápida intensidad, lo que obliga a poner en práctica las maniobras de contracción muscular y las técnicas de respiración ensayadas en los perfiles previos. En las gráficas se reflejan parte de un perfil de entrenamiento con los niveles de aceleración Gz y Gx alcanzados y a la oficial alumno a +1,4 Gz y realizando las maniobras de contracción muscular a +7 Gz.

na. Díaz-Rubio M, Espinós D. Sección XV. Capítulo 298: 2041-2049. Editorial Panamericana, Madrid 1994.

—Alonso Rodríguez C. *Eurofighter 2000, Soporte médico*. Revista de Aeronáutica y Astronáutica 628: 1008-1013, 1993.

—Alonso Rodríguez C. *La Aviación Militar: Un reto para la Medicina Aeronáutica*. Editorial de la Revista Medicina Aeroespacial y Ambiental. Vol IV nº 4: 149-150, 2005

—Green N.D.C. *Effects of long-duration acceleration*. En Ernsting's Aviation Medicine 4ª edición. Oxford University Press 137-158, 2006

—Burton R.R., Whinnery. *Biodynamics: Sustained acceleration*. En: Fundamentals of aerospace Medicine 3ª edición. Lippincott Williams & Wilkins:122- 153, 2002

—Hopkins P. *Operating Typhoon*.

Presentado en Six Nations Aeromedical Symposium. En RAF Centre of Aviation Medicine 27-28.02.2007

—Welsch H. *Aeromedical Training of Eurofighter/ Typhoon*. Presentado en Six Nations Aeromedical Symposium. En RAF Centre of Aviation Medicine 27-28.02.2007

—Gradwell D. *P Aeromedical challenges of Typhoon- the European Fourth Generation Combat Jet*. Presentado en Six Nations Aeromedical Symposium. En RAF Centre of Aviation Medicine 27-28.02.2007

—Rödig E. *The human factor challenge in Typhoon*. Presentado en Six Nations Aeromedical Symposium. En RAF Centre of Aviation Medicine 27-28.02.2007

AGRADECIMIENTOS:

Al coronel jefe del Ala 23 Guillermo Vaya Cañellas, por su cooperación y apoyo. Al teniente coronel médico Armando Torner Alonso de la B. A. de Torrejón y a la capitán médico Beatriz Puente Espada del CIMA por su valiosa contribución en el entrenamiento de los oficiales alumnos y en la realización de las encuestas. A Juan Medina Font por su apoyo estadístico. A los alferoces alumnos del 96 curso de Caza y Ataque por el esfuerzo y magnífico trabajo realizado en la centrífuga que les será sin duda muy útil en su futuro como pilotos de combate, por su espíritu de cooperación incluyendo su autorización para la publicación de sus imágenes.



Figura 10. La aparición de petequias como consecuencia del aumento de la presión vascular a nivel de los capilares de la piel que puede causar trasudación de fluido e incluso rotura de los mismos pudiendo llegar a producir hematomas. En la imagen extravasación en abdomen, en espalda y la localización más frecuente en antebrazo.