

## Variaciones electrocardiográficas en pilotos de avión F-5 Northrop en actividades terrestres y vuelo real con maniobras de combate aéreo: *Estudio comparativo*

Gral. Bgda. M.C. Víctor Manuel **Rico-Jaime**,\*

Mayor M.C. Roberto **Rodríguez-de-la-Cruz**,\*\* Tte. Cor. M.C. José de Jesús **Almanza-Muñoz**\*\*\*

Dirección General de Sanidad, Sección de Medicina Aeroespacial. Ciudad de México.

### RESUMEN

**Introducción.** La exposición del ser humano a condiciones de vuelo implica riesgos cardiovasculares que se acentúan durante vuelo de combate. Existen pocos reportes internacionales y ninguno nacional.

**Objetivo.** Determinar los cambios electrocardiográficos en pilotos militares efectuando actividades terrestres en comparación con ejercicios de vuelo de combate.

**Método.** Estudio prospectivo, transversal y observacional. Se estudiaron a ocho pilotos de F-5 de la Fuerza Aérea Mexicana con estado clínico normal.

**Resultados.** La muestra tuvo una edad promedio de 30.5 años de edad. El promedio de horas de vuelo fue de 275.15 (Min. 64 y Max. 667 hrs). Se efectuaron perfiles antes y durante vuelo, así como un registro Holter. Las condiciones pre-vuelo incluyeron bradicardia sinusal en 100%, taquicardia sinusal en 50%, extrasístoles ventriculares en 25% y extrasístoles supraventriculares en 50%; en contraste durante el vuelo no se registró bradicardia, se encontró taquicardia sinusal en 87.7%, extrasístoles ventriculares en 25% y extrasístoles supraventriculares en 37.5%.

**Discusión.** Se encontraron mayores cambios electrocardiográficos en vuelo, en comparación con actividades en tierra, principalmente taquicardia sinusal y extrasístoles, lo cual es similar a lo reportado en la literatura médica aeronáutica.

**Conclusiones.** La exposición a vuelo de combate conlleva mayores cambios electrocardiográficos que los encontrados en actividades terrestres, que son relevantes en términos de selección de personal así como de prevención de riesgo cardiovascular en medicina aeronáutica. Es recomendable dar continuidad a esta innovadora línea de investigación militar.

**Palabras clave:** Fuerza Aérea, electrocardiografía, pilotos militares, riesgo cardiovascular, Medicina Aeroespacial.

### *Electrocardiographic changes in airline pilots in F-5 Northropflight activities on land and real air combat maneuvers: A comparative study*

### SUMMARY

**Introduction.** The human being exposure to flight conditions implies cardiovascular risks which tend to increase during combat flight. There are only few international reports and no one national.

**Objective.** To determine electrocardiographic changes in military pilots doing earth activities as compared to flight. Combat exercises.

**Method.** A prospective, transversal and observational study was done in 8 Mexican Airforce F-5 pilots with a normal clinical state.

**Results.** The sample had a main age of 30.5 years old. Flight hours main was of 275.15 (minimal of 64 and maxim of 667 hrs). Profiles were done pre and post-flight, as well as a Holter record. Pre-flight condition included sinus bradycardia in 100%, sinus tachycardia in 50%, ventricular extrasystoles in 25% and supraventricular extrasystoles in 50%; in contrast, during the flight tachycardia was no registered, sinus tachycardia was found in 87.7%, ventricular extrasystoles in 25% and supraventricular extrasystoles in 37.5%.

**Discussion:** There were more electrocardiographic changes in flight activities as compared with earth activities, mainly sinus tachycardia and extrasystoles, which are similar to those reported in aeronautical medical literature.

**Conclusions.** Flight combat exposure causes more electrocardiographic changes than those founded in earth activities, which are relevant in terms of personnel selection as well for prevention of cardiovascular risks in aeronautical medicine. It is recommendable to continue this innovative research line of military aeronautical medicine.

**Key words:** Air Force, electrocardiography, military pilots, cardiovascular risk, Aerospace Medicine.

\*Director General de Sanidad, Especialista en Medicina Aeroespacial. \*\*Jefe de Sección de Medicina Aeroespacial de la Dirección General de Sanidad. \*\*\*Jefe de Investigación, Clínica de Especialidades de la Mujer.

Correspondencia:

Dr. Víctor Manuel Rico-Jaime

Boulevard Manuel Ávila Camacho s/n Esq. Av. Ejército Nacional y Periférico, Campo Militar 1-J. Predio Reforma. Col. Irrigación, Deleg. Miguel Hidalgo, C.P. 11500, México, D.F. Correo electrónico: dgsanidad@mail.sedena.com.mx

Recibido: Febrero 20, 2010.

Aceptado: Marzo 12, 2010.

## Introducción

El avance tecnológico en la aeronáutica respecto a aeronaves de alta performance –son aquéllas que requieren alto nivel de exigencia física y de ejecución para maniobrarlos con seguridad y destreza– impone cambios de diferente magnitud psico-fisiológicos al cuerpo humano, pues es sometido a aceleraciones que difícilmente se resistirían sin el uso de dispositivos como los trajes anti G y sin la aplicación de las maniobras M-1 y L-1, para contrarrestar los efectos que dichas aceleraciones ocasionan.<sup>1-5</sup>

En ese mismo sentido, al factor de aceleración se agregan otros factores cuya importancia es relevante; tales como los psicológicos (temor, sobre carga mental, ansiedad, etc.),<sup>6</sup> aspectos fisiológicos (alteraciones en la respiración, de tipo hormonal, electrolíticas, en el flujo sanguíneo, etc.) y aspectos ambientales (altitud, ruido, vibración, etc.). La influencia de todos éstos no es aislada sino multimodal e incluyen la potencialización entre sí.<sup>1,4,7-9</sup>

El aparato cardiovascular es uno de los más afectados por la exposición del cuerpo humano a condiciones diferentes a su entorno habitual como son las aceleraciones de diferente magnitud. Algunos estudios han mostrado la existencia de patologías en estado subclínico que, sin embargo, se hacen aparentes en tales condiciones,<sup>4,7,8,10-14</sup> como ha sido ampliamente revisado en el Reporte Bellagio, el cual describe los riesgos cardiovasculares del suelo espacial y sus implicaciones para los futuros vuelos espaciales.<sup>6</sup>

En esa misma línea, se cuenta con reportes de modelos de experimentación en animales en pruebas de aceleraciones similares a las que se someten los pilotos de aeronaves de alta performance, reportándose hemorragia sub-endocárdica, isquemia cardiaca, estenosis coronaria y disminución del flujo sanguíneo cardiaco, entre otros hallazgos. Dichos reportes obligan a considerar el probable riesgo potencial que enfrentan los pilotos y otro personal aeronáutico al someterse a condiciones similares.<sup>7,15-17</sup> Reportes recientes señalan la medida en que el desempeño aeronáutico es modificado por la sobrecarga de trabajo en vuelo<sup>18</sup> y que entidades como el síndrome de Wolf-Parkinson-White, pueden desencadenarse en forma secundaria al estrés que experimentan los pilotos al someterse a fuerza Gz (+) o (-).<sup>19</sup>

Los estudios de investigación que reporta la literatura realizados en seres humanos, en su mayoría, se han llevado a cabo en centrífugas humanas, condición bajo la cual existe un control de 100% sobre las condiciones vuelo que se busca simular; las condiciones de vuelo real donde no existe 100% de control, incrementa en alguna medida el nivel de estrés.<sup>1-3,5,9-11,14</sup> El reporte reciente de Hanada<sup>20</sup> recomienda el monitoreo electrocardiográfico de rutina durante el entrenamiento en centrífugas para detectar la patología cardiaca subyacente que puede incluir arritmias peligrosas durante el vuelo.

Con base en lo anterior, es necesario dar apertura a la presente línea de investigación sobre las variaciones electrocardiográficas en pilotos de F-5, realizando actividades

terrestres habituales y de vuelo real efectivo con maniobras de combate aéreo.

## Antecedentes

Las consecuencia aeromédicas por exceso de la aceleración actuando sobre el organismo humano fueron reportadas en pilotos durante la Primera Guerra Mundial, aquejando alteraciones en la visión o pérdida de la misma cuando realizaban picadas rápidas y sostenidas sobre el blanco o al ejecutar cambios de dirección muy anguladas y bruscas, resultado de la exposición a la aceleración que igualaba o superaba en ocasiones a la fuerza de atracción de la gravedad terrestre.<sup>1-4</sup>

Lo anterior da pie al desarrollo de la carrera científica y tecnológica en la investigación de los cambios psico-fisiológicos ocasionados por la aceleración, investigaciones que son realizadas u obtenidas en centrífugas humanas, de sobrevivientes de accidentes de aviación y en modelos de experimentación animal.<sup>3,4,9,13,16,17</sup>

La aceleración se define como el cambio de velocidad de un objetivo en movimiento, en el concepto que la magnitud de este cambio puede ser en la dirección, en la propia velocidad o en ambos factores, la unidad de medida de aceleración centrípeta (radial) y lineal es la G, que es igual a la aceleración que presenta un cuerpo en caída libre cerca de la superficie terrestre, equivaliendo una G a 32.2 Ft/seg<sup>2</sup> o 9.81 m/seg<sup>2</sup>.

Existen bien descritos en la literatura los tipos de fuerzas de aceleración (Gs) a las que un individuo puede ser sometido:

- Las fuerzas Gz (+) se aplican en sentido caudo-cefálico (los globos oculares tenderán a desplazarse hacia abajo).
- Las fuerzas Gz (-) se aplican en sentido céfalo-caudal (por lo que los globos oculares tenderán a desplazarse hacia arriba).
- Las aceleraciones Gx (+) se aplican en sentido postero-anterior (de manera que los globos oculares tenderán a desplazarse hacia el interior de las cavidades orbitarias).
- Las fuerzas Gx (-) se aplican en sentido antero-posterior (por lo tanto los globos oculares tenderán a desplazarse hacia delante y afuera de dichas cavidades).
- Las aceleraciones Gy (+) se aplican en sentido lateral de izquierda a derecha (por lo tanto los globos oculares tenderán a desplazarse a la izquierda).
- Las fuerzas Gy (-) se aplican de derecha a izquierda, donde los globos oculares tenderán a desplazarse a la derecha.<sup>3,4,14</sup>

Se considera que las fuerzas G o aceleraciones a que se somete al organismo humano aunado al tipo de misión, la complejidad para pilotear adecuadamente aeronaves caza del tipo F-5 (*Figura 1*) y otras condiciones ambientales, imponen al piloto aviador un estado de stress tanto físico como emocional que altera en forma variable (en un mismo sujeto, como de sujeto a sujeto durante la realización de la misma acción) la fisiología metabólico-endocrina, así como sus respuestas psicológicas que tendrán repercusión en el sistema



**Figura 1.** Avión tipo F-5, velocidad que desarrolla 1.6 mach, lo que genera 7.5 “Gs”.

cardiovascular.<sup>4,5,8,9,19,20</sup> Los factores principales de estrés generadores de arritmias se enumeran en el *cuadro 1*.

Reportes de investigación señalan que las aceleraciones sostenidas entre 4 a 6 Gs y mayores en periodos de 3 a 5 seg son suficientes para producir disminución en el flujo cerebral ocasionando “grey out” o visión gris. “Black out” o visión negra y pérdida de la conciencia, aunque estas alteraciones fisiológicas son variables y están influenciadas por el tiempo de establecimiento de las fuerzas G, frecuencia cardiaca, tensión arterial y los factores estresantes mencionados en el *cuadro 1*.<sup>3-5</sup>

A la par de las investigaciones acerca de los efectos de la aceleración sobre el organismo humano, se investigó la forma de contrarrestar dichos efectos, lo que dio como resultado –desde el punto de vista tecnológico– el traje anti G (usaf standard, entre otros) que consiste en un sistema de cinco globos (dos para cada pierna y uno sobre el abdomen (*Figura 2*) interconectados entre sí y que mediante un sensor de velocidad, una vez que se encuentra conectado a la nave mediante una válvula, al alcanzar las 1.75 Gs se inflan los globos en forma automática, contrarrestando de esta forma alrededor de las 2 Gs.<sup>2</sup>

Desde el punto de vista fisiológico se pueden contrarrestar los efectos de la aceleración hasta 1.5 Gs con las manobras M-1 y L-1: consistiendo la primera en echar la cabeza

**Cuadro 1.** Principales factores de stress.

Generadores de arritmias	
Factores psicológicos	Ansiedad. Miedo. Cansancio mental. Dolor.
Factores fisiológicos	Ejercicio. Alteraciones respiratorias Distensión mecánica. Fatiga.
Alteraciones hormonales	Imbalance autonómico. Alteraciones electrolíticas. Alteraciones en el flujo sanguíneo.
Factores ambientales	Altitud. Aceleración. Temperatura. Vibraciones. Ruido.

Nota. Los factores estresantes anteriores se encuentran enlistados en forma arbitraria. Muchos de éstos se interrelacionan. No se incluyen todos en el cuadro, pero están los principales representantes de los factores que se encuentran bien descritos como generadores de arritmias por sí solos y no necesariamente en el medio aeronáutico.



**Figura 2.** Se observa el traje anti "G" tipo usaf-standard, donde se muestra el dispositivo mediante el cual se conecta a la nave para su funcionamiento.

hacia delante y entre los hombros, exhalando lentamente y con gran esfuerzo como un pujido o gruñido a través de la glotis parcialmente cerrada y al mismo tiempo poner en fuerte tensión al aparato músculo-esquelético, con esta maniobra se da protección postural ya que se disminuye la distancia entre la cabeza y el corazón manteniendo de esta forma por más tiempo el flujo sanguíneo cerebral, apoyando lo anterior con un aumento de la presión intratorácica obtenida por el fuerte esfuerzo de los músculos respiratorios al exhalar a través de la glotis parcialmente cerrada y la contracción de los músculos periféricos y abdominales se eleva el diafragma y se comprime externamente al bazo disminuyendo su capacidad de atrape sanguíneo.

Para exposiciones a Gs de larga duración la maniobra debe ser repetida cada 4 a 5 seg.

Cuando se realiza en forma correcta la fase de la exhalación de esta maniobra se obtienen de 50 a 100 mmHg. De presión intratorácica con lo que se logra elevar la presión sanguínea arterial.

La maniobra L-1 es muy similar a la anterior, teniendo como única variante el tratar de exhalar con la glotis completamente cerrada.<sup>4,5</sup>

De las alteraciones que se presentan en el E.C.G., se encuentra bien documentadas las siguientes:

- **Onda P.** Existen cambios a partir de una exposición de 3 Gz (+) durante maniobras de combate aéreo sostenidas,

caracterizados por un incremento en la amplitud de la onda P. Los cambios de la onda P son de ritmo atrial ectópico quedando frecuentemente fundida o empastada con la onda T durante los efectos de las fuerzas Gz (+).

- **Complejo QRS.** Los movimientos cardiacos, la respiración (desplazamientos, torsión y rotación) así como la alteración en la función ventricular, pueden alterar el QRS en su amplitud y configuración. La respuesta del QRS en individuos normales sometidos a fuerzas Gz (+) es tal, que la amplitud no cambia significativamente. Si la onda R disminuye en amplitud, una profundidad recíproca de la onda S ocurre, cambio que probablemente significa una rotación en el eje eléctrico del corazón. Cambios similares se han visto en otras formas de estrés, como en algunos pacientes sometidos a pruebas de esfuerzo en bandas sinfín, en aquellos que presentan aumentos de catecolaminas y trastornos electrolíticos, también influyen en la configuración del QRS, aún se desconoce cuál de éstos o en conjunto es o son los responsables.
- **Onda T.** Ésta y el segmento S-T son los más estudiados por su posible asociación con isquemia del miocardio u otros trastornos, los reportes de cambios del segmento S-T que sugieran isquemia no han sido muy frecuentes; sin embargo, aquéllos sometidos durante y después de la exposición a las Gz (+) deberán ser estudiados para descartar daño de tipo isquémico. La onda T en banda sinfín puede mostrar disminución de la amplitud, con aplanamiento o bien se vuelve difásica o invertida, cambios que desaparecen o revierten en el transcurso de la carrera. Durante maniobras de combate aéreo sostenidas, los cambios de la onda T con fuerzas Gz (+) sostenidas presentan, entre el primer minuto y el segundo, una onda T muy acuminada que revierte lentamente y aún perdura 5 min después en jóvenes entrenados y con mucha resistencia. Las ondas T acuminadas también son sugestivas de hiperkalemia pues el potasio sérico se eleva significativamente después de la exposición a las Gz (+). La norepinefrina y la epinefrina producen una respuesta diferencial y son responsables de los cambios tempranos y tardíos de la onda T.<sup>3,5,9,12,13,15</sup>

### Justificación

La literatura internacional en Medicina Aeroespacial describe diversas alteraciones fisiológicas dentro de las cuales destacan los riesgos cardiovasculares, mismos que no han sido estudiados en pilotos mexicanos; población en la cual la evaluación médica ha sido hasta cierto punto limitada, por lo que dar apertura a la presente línea de investigación permite cumplir con uno de los objetivos de medicina de aviación: velar por la seguridad de las operaciones aeronáuticas mediante la realización de estudios de investigación médica que redunden en la preservación y mejoramiento de dicha seguridad.

### Objetivos

- Determinar el grado de respuestas electrocardiográfica de los pilotos de aviones F-5 en un combate aéreo simulado

y comparar esas respuestas con un registro previo del mismo piloto habiendo desarrollado actividades terrestres habituales.

- Teniendo en cuenta las diferencias físicas, raciales, culturales y antropométricas que existen entre los pilotos de las naciones donde se han desarrollado estudios de este tipo y los pilotos mexicanos, se determinará si los resultados que se obtengan son semejantes o diferentes a los encontrados en otros países.
- Determinar el estado cardiológico de los actuales pilotos de F-5 de la Fuerza Aérea Mexicana.
- Dejar bases para tratar de definir el perfil cardiológico de los futuros pilotos de este tipo de aeronaves, así como determinar grados de utilidad o inutilidad para el servicio de la Fuerza Aérea Mexicana.

## Método

Se incluyeron en el presente estudio ocho de 12 que son el total de jefes y oficiales pilotos aviadores de aeronaves F-5. Con edades que variaron de los 25.6 a los 36 años y un promedio de 30.5 años de edad. Con un total de horas con un promedio de 275.15 h. Todos pertenecientes al Escuadrón 401 de Combate del 7/o. Grupo Aéreo de la Fuerza Aérea Mexicana.

Se utilizaron aeronaves de alta performance tipo F-5 (*Figura 1*) de la Fuerza Aérea Mexicana, así como trajes anti "Gs" tipo usaf standard (*Figura 2*).

Para la cardiograbación se emplearon grabadoras "holter" proporcionadas por el Hospital Central Militar, las grabaciones se interpretaron en la computadora que para tal efecto cuenta el Servicio de Electrocardiografía del mismo hospital.

A todos los pilotos se les tomó un E.C.G. de reposo, se les realizó el mismo día un examen clínico con elaboración de su respectiva historia clínica, colocándoles la grabadora "holter" durante 24 h, abarcando 12 h del día anterior al vuelo y 12 h del día siguiente en las que se incluyó el vuelo, estableciendo de esta forma el patrón clínico y electrocardiográfico de cada uno de ellos en un día de actividades comunes en tierra y del día de vuelo con la variable, objeto de estudio, como lo es el vuelo real con maniobras de combate aéreo.

Antes del vuelo se les practicó el acostumbrado examen clínico y a continuación se realizó el vuelo cuyo perfil incluyó para cada individuo un patrón de combate aéreo en el que se presentaron en forma azarosa y por razones de que cada combate aéreo es diferente e impredecible, aceleraciones que variaron en el rango de 1 G (-) a 6.5 G (+), con un mínimo de 10 cambios de aceleración por combate. El tiempo total de cada combate aéreo dividido en una fase ofensiva y otra defensiva fue en promedio de 1 h.

Los ejercicios de maniobras básicas de combate consisten en llevar a cabo un ataque aire-aire en el que el atacante simula el lanzamiento de un misil, a partir de ese momento el atacado inicia maniobras para evadirlo, en tanto que el atacante inicia una serie de maniobras para alcanzar los parámetros de tiro de cañón.

## Resultados

Los E.C.Gs. en reposo de los pilotos estudiados, así como su examen e historia clínica no revelaron patología al momento de ser realizados, quedando todos incluidos en el presente trabajo de investigación.

El análisis de las grabaciones de cada uno de los pilotos estudiados, así como trazos de los hallazgos más significativos son como siguen:

### Piloto Núm. 1.- 36 años de edad

Se observó ritmo sinusal con frecuencia ventricular de 71, bradicardia sinusal de 46 min durante el sueño de taquicardia sinusal de 120 min en vigilia, extrasístoles unifocales con promedio de menos de 1 por h.

En el siguiente trazo (*Figura 3*) se puede observar la bradicardia sinusal y una extrasístole ventricular aislada Taquicardia supraventricular durante el vuelo de hasta 124 min. Actividad supraventricular ectópica (extrasístolias con un promedio de menos de 1 en una h, 14 simples y 4 pareadas). En la *figura 4* observamos el trazo de la taquicardia supraventricular durante el vuelo.

### Piloto Núm. 2.- 35 años de edad

Ritmo sinusal con frecuencia ventricular media de 64 min bradicardia sinusal de 50 min, una extrasístole ventricular aislada en la fase de sueño, desarrollando en prevuelo extrasístoles ventriculares con un promedio de 3 por h, 49 aisladas, ocho pareadas, y colgajo de taquicardia supraventricular en vuelo de hasta 120 min.

En los siguientes trazos observamos la bradicardia sinusal (*Figura 5A*). Primero una extrasístole ventricular de prevuelo (*Figura 5B*) y en el segundo trazo se observa la taquicardia supraventricular que se presentó durante el vuelo (*Figura 5C*).

### Piloto Núm. 3.- 26 años de edad

Frecuencia ventricular media de 81 min ritmo sinusal, bradicardia sinusal en sueño de 56 min, taquicardia sinusal prevuelo y en vuelo de hasta 157 min, extrasístoles supraventriculares aisladas de menos de 1 por h, 13 simples y dos pareadas.

En el segmento de trazo (*Figura 6*) se muestra la taquicardia sinusal en la fase de pre y durante el vuelo.



**Figura 3.**



Figura 4.

**Piloto Núm. 4.-** 29 años de edad

Bradicardia sinusal en fase de sueño de 54 min, en fase de prevuelo desarrolla taquicardia supraventricular de hasta 128 min, extrasístoles supraventriculares de menos de una por h, extrasístoles ventriculares frecuentes que desaparecen durante el vuelo.

En los siguientes trazos, el primer segmento muestra la bradicardia sinusal (*Figura 7A*).

Este segundo trazo nos muestra la taquicardia supraventricular (*Figura 7B*).

Y en este último segmento observamos extrasístoles ventriculares durante el vuelo (*Figura 7C*).

**Piloto Núm. 5.-** 25 años de edad

Frecuencia ventricular media de 81 min, bradicardia sinusal nocturna de 50 min, rangos de taquicardia sinusal en pre y durante el vuelo de hasta 150 min, extrasistolias ventriculares aisladas menos de 1 por h, extrasístoles supraventriculares de menos de 1 por h y se observa el punto "J" desplazado (efecto vagotónico).

En la *figura 8A* se observa la taquicardia que se presentó pre y durante el vuelo.

En la *figura 8B* se observa una de las extrasístoles ventriculares aisladas.

En la *figura 8C* observamos el punto "J" desplazado que se traduce como un efecto vagotónico.

**Piloto Núm. 6.-** 32 años de edad

Frecuencia ventricular media de 79 min con rangos de bradicardia sinusal de 50 min y taquicardia sinusal en vuelo de 146 min. Extrasístoles supraventriculares aisladas de menos de 1 en una h, esta actividad ectópica corresponde a arritmia sinusal.

En la *figura 9A* observamos la bradicardia sinusal durante el sueño y en la *figura 9B* se observa la taquicardia sinusal en vuelo.

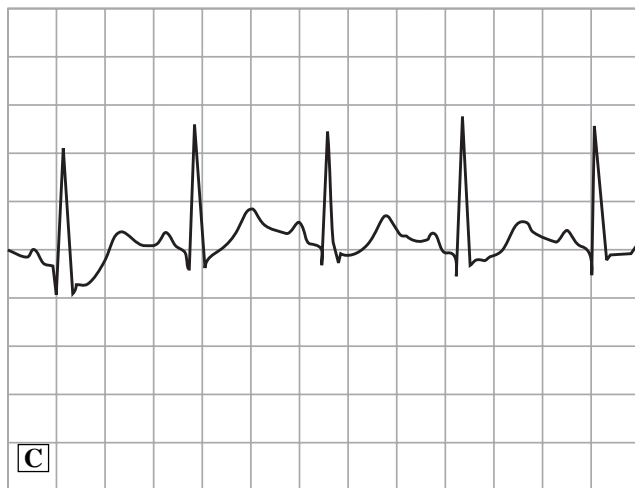
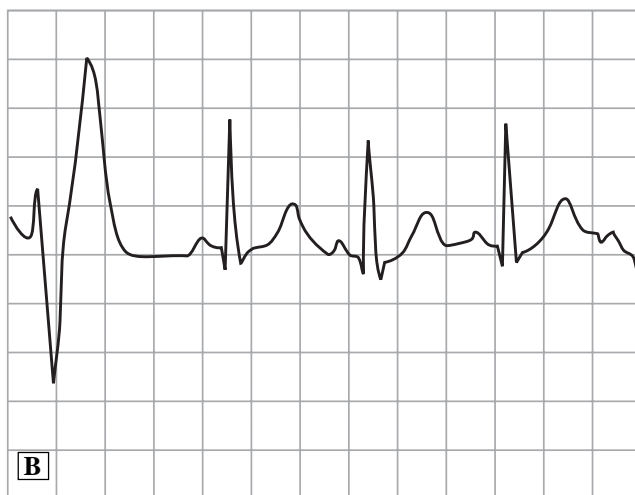
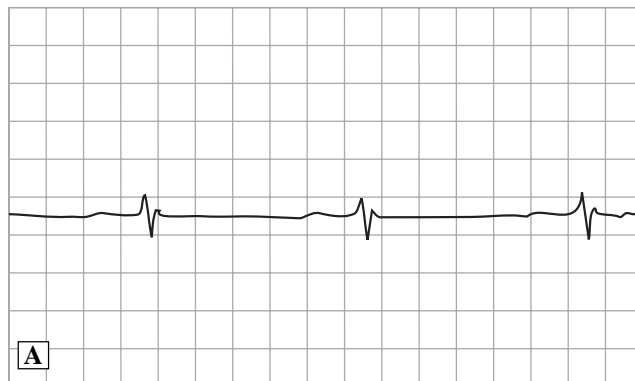


Figura 5.

**Piloto Núm. 7.-** 26 años de edad

Frecuencia ventricular media de 68 min con periodos de bradicardia sinusal durante el sueño de 39 min, taquicardias supraventriculares de 148 min en vuelo.

En la *figura 10A* se muestra la bradicardia acentuada y como hallazgo durante el prevuelo, se observa onda "U", señalada con un flecha.

En este último trazo se observa la taquicardia supraventricular que se presentó durante el vuelo (*Figura 10B*).

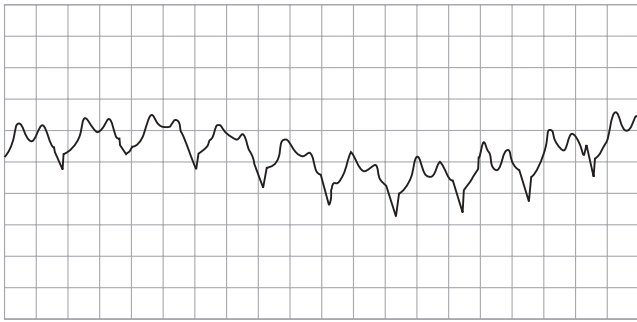


Figura 6.

**Piloto Núm. 8.-** 35 años de edad

Frecuencia media de 70 min ritmo sinusal con rangos de bradicardia de 42 min durante el sueño. Taquicardia sinusal en vuelo de 114 min, extrasístoles supraventriculares con promedio de tres por h simples, 38 pareadas en todo el registro.

No se obtuvo trazo por haber presentado más del 25% de artefactos durante el registro.

Las alteraciones al ritmo que se presentaron durante la cardiograbación de los sujetos en estudio se presentan en el *cuadro 2*.

**Discusión**

Los sujetos estudiados nos representan únicamente 66.6% del total de pilotos de F-5, con que cuenta el Escuadrón 401 del 7/o. Grupo Aéreo de la Fuerza Aérea Mexicana, por lo que no podemos considerar al presente un estudio concluyente y con respecto a las estadísticas de otros países, no es de hecho comparable, debido a la gran diferencia de volúmenes de sus universos de trabajo. Sin embargo, es muy importante para las estadísticas de nuestro país por ser el primer estudio en su tipo con la variable muy importante de haber sido realizado en aeronaves durante vuelo real, en comparación con los otros grupos de investigación que se reportan en la literatura que han realizado la mayoría de sus investigaciones en centrífugas humanas.

En cuanto a las alteraciones del ritmo que se detectaron durante la cardiograbación, nuestros resultados son muy similares a las series reportadas por otros autores.<sup>3,4,9</sup> En el presente estudio no se detectó patología subclínica, ya que las recuperaciones en todos los casos en que se presentó una alteración del ritmo, fueron rápidas y no sostenidas.

La bradicardia sinusal con 100% de las alteraciones detectadas durante la grabación antes del vuelo, se relaciona en todos los casos con el sueño a excepción de uno (Piloto # 7) que se presentó inmediatamente antes del vuelo, lo que se tradujo como un efecto vagotónico. Se sabe que durante el sueño los demás factores estresantes generadores de alteraciones en el ritmo, mencionados en el *cuadro 2*, se encuentran latentes, ausentes o no influenciando sobre los sujetos de estudio.

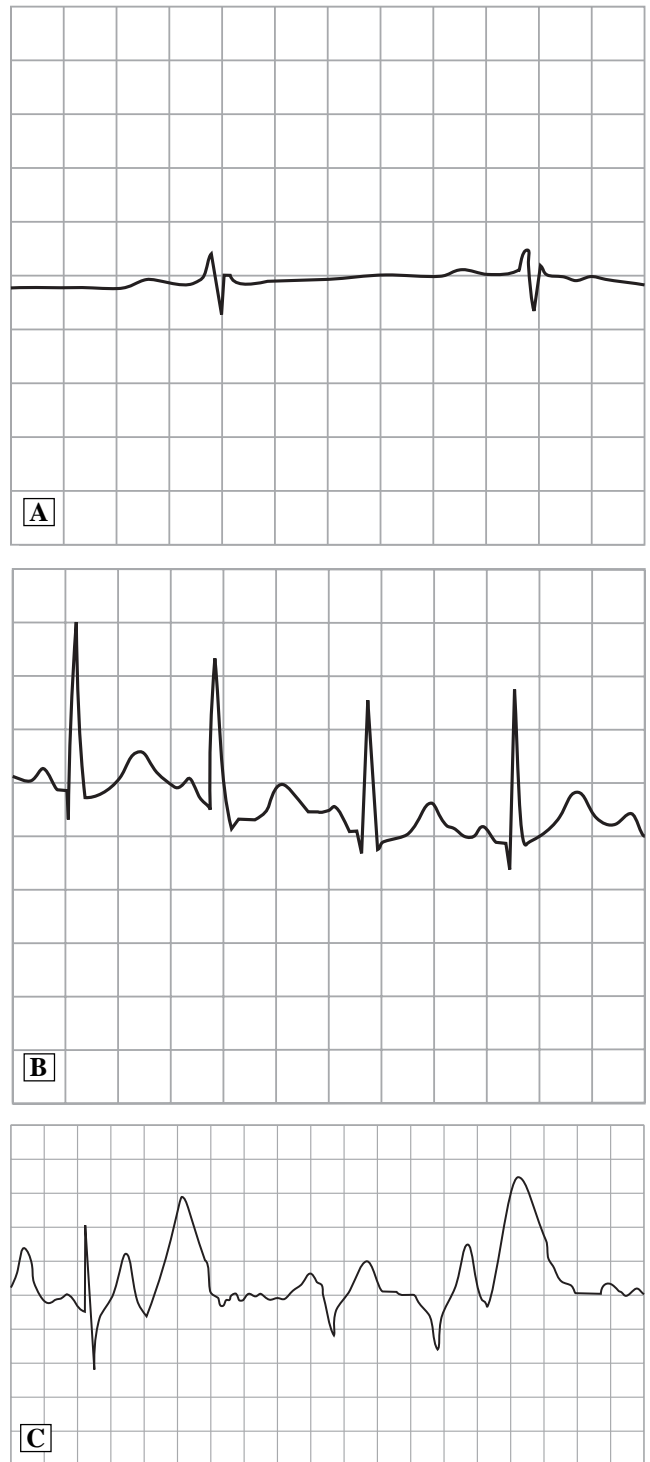


Figura 7.

Es de hacer notar que el mayor número de alteraciones electrocardiográficas se presentaron en los pilotos con menor número de horas de vuelo, hecho que es similar a lo reportado en la literatura y que se relacionó al mayor grado de stress presente en los individuos con menos horas de entrenamiento en vuelo.<sup>4,9-11</sup> Asimismo, conviene puntualizar que Hanada<sup>20</sup> reportó alteraciones similares y recomien-

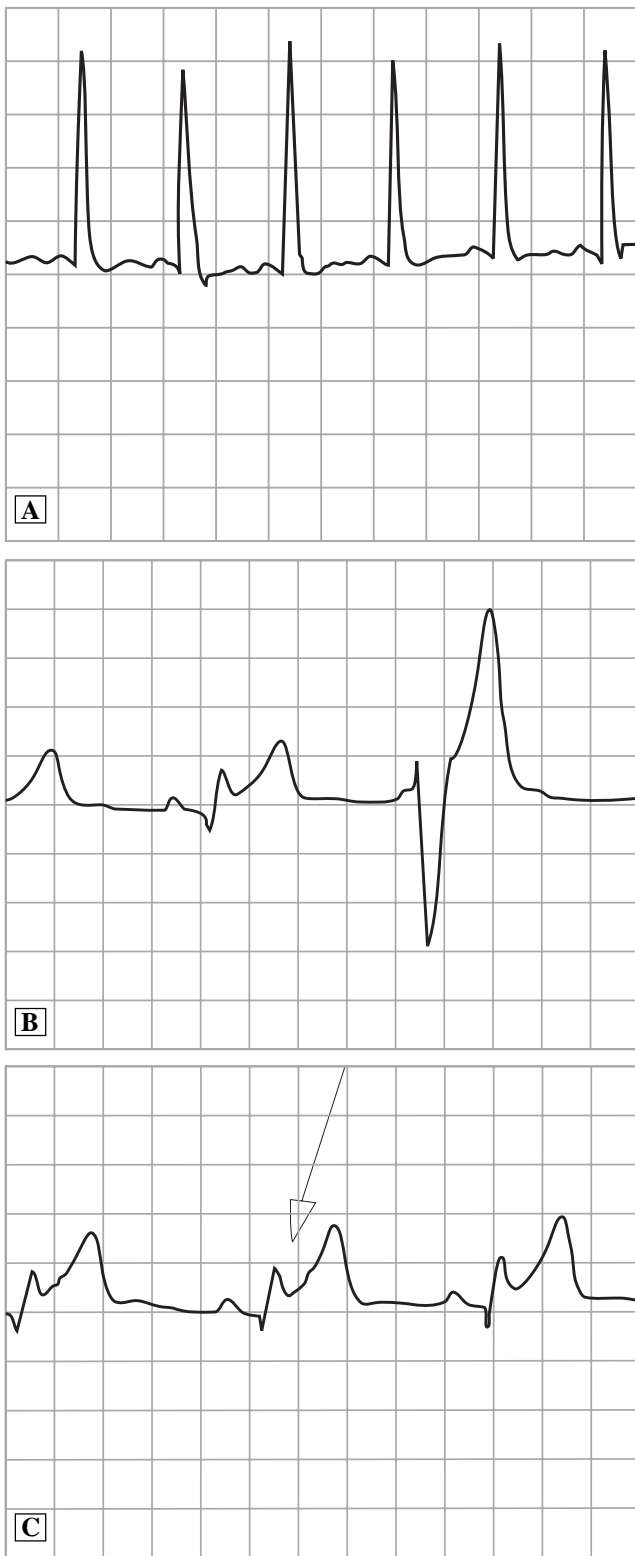


Figura 8.

da diferenciar mediante el entrenamiento centrífugo las arritmias serias o patológicas de aquéllas que corresponden a una respuesta fisiológica del organismo al ambiente de vuelo simulado.

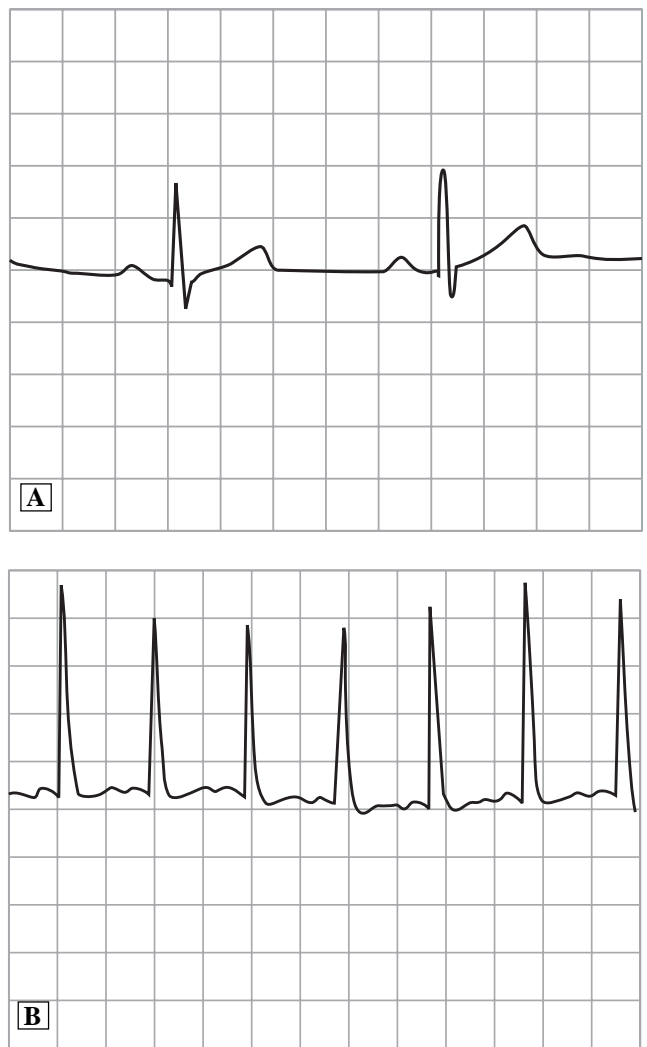


Figura 9.

### Conclusiones

La exposición de pilotos mexicanos de combate conlleva la existencia de cambios electrocardiográficos relevantes claramente diferenciados de los eventos que se registran en actividades terrestres.

Dichos cambios son similares a los reportados en otras comunicaciones científicas que ha estudiado dichos fenómenos en personal militar de vuelo.

La relevancia de dichos cambios no es suficientemente categórica para establecer un estado médico de enfermedad, sin embargo, es relevante en términos de selección, observación y seguimiento del personal de pilotos, tanto durante sus actividades de entrenamiento como de operaciones aéreas.

La similitud de los resultados permite concluir que las diferencias físicas, raciales, culturales y antropométricas que existen entre los pilotos de otras naciones comparadas con las encontradas en pilotos mexicanos no parecen ser variables condicionantes para la génesis de las alteraciones electrocardiográficas.



Cuadro 2.

Alts. del ritmo	Pre-vuelo(%)	Vuelo(%)
Bradicardia sinusal	4 (100)	
Taquicardia sinusal	4 (50)	7 (87.7)
Extrasístoles ventriculares	2 (25)	2 (25)
Extrasístoles supraventriculares	4 (50)	3 (37.5)

Nota: El porcentaje obtenido de cada una de las alteraciones del ritmo es con respecto a todo el Universo de Trabajo.

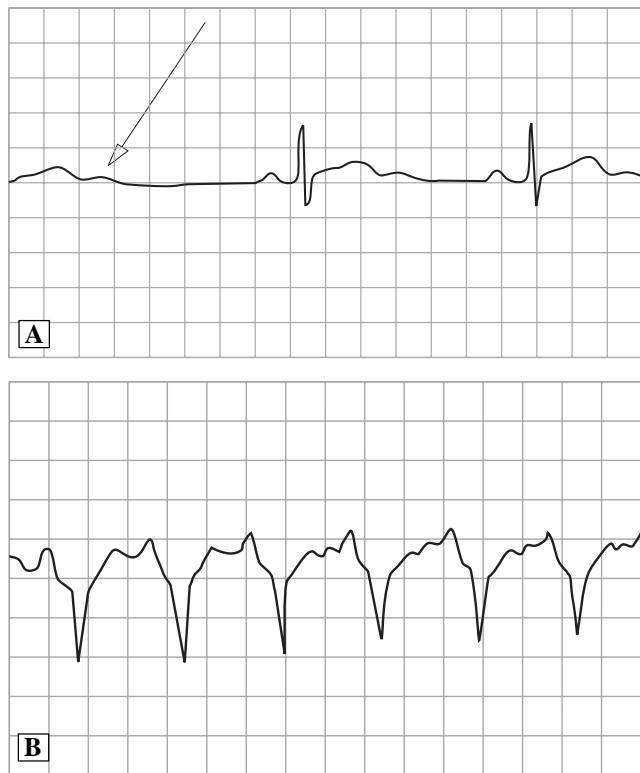


Figura 10.

Aun cuando la relevancia de estos hallazgos no implica patología cardiovascular sí conlleva cierto grado de riesgo cardiovascular, que, como se señala en diversos reportes citados,<sup>3,5,9,11-13,20,21</sup> debe ser considerado para efectos de selección, observación, cuidado médico y seguimiento, a fin de detectar estados subclínicos que serán relevantes durante la exposición del organismo a condiciones de vuelo, particularmente cuando se realizan maniobras de combate.

El ámbito futuro de la Medicina Aeroespacial requerirá no sólo estudiar a personal militar de vuelo, sino a personal que efectuará vuelos espaciales y aun a los viajeros o turistas espaciales, lo cual es ya una realidad aunque en escala limitada, terreno en el cual el Reporte Bellagio<sup>21</sup> tiene especial relevancia.

Finalmente es importante señalar que la presente línea de investigación debe continuarse con el propósito de que el Servicio de Sanidad en el campo de la Medicina Aeroespacial, esté en condiciones de generar conocimiento nuevo que permita la selección óptima de los pilotos de combate así como su cuidado médico de excelencia para contribuir al desarrollo de las misiones constitucionales del Ejército y Fuerza Aérea Mexicanos.

## Referencias

- Burton RR, Leverett SD, Michaelson ED. Man at high sustained Gz (+) acceleration. *Aerospace Med* 1974; 45(10): 1115-36.
- Burton RR, Krutz W. G-tolerance and protection with anti-g-suit concepts. *Aviat Space Environ Med* 1975; 46(2): 119-24.
- Burton RR, Whinnery JE. Operational G-induced loss of consciousness: something old; something new. *Aviat Space Environ Med* 1985; 56: 812-17.
- Dehart RL, MD, PH, MSIA. Fundamentals of aerospace medicine. Charp. 9 Philadelphia: Lea & Fabiger; 1985, p. 202-19.
- Voge VM. Acceleration forces on the human subject. *Aviat Space Environ Med* 1980; 51(9): 970-80.
- Sells SB, Berry CA. Human factors in jet and space travel: a medical-psychological analysis. New York: Ronald Press Co.; 1961.
- Burton RR, Mackenzie WF. Cardiac pathology associated with high sustained Gz (+): subendocardial hemorrhage aviat. *Space Environ Med* 1976 47(7): 711-17.
- Gillingham KK, Phelps PC. Changes in clinical cardiologic measurement associated with high Gz (+) stress. *Aviat Space Environ Med* 1976; 47(7): 726-33.
- Seller DR, Kennealy JA, Vitterio N. Serum myocardial enzymes after Gz (+) acceleration. *Aviat Space Environ Med* 1977; 48(1): 1-4.
- Burton RR, Mackenzie WF. Heart pathology associated with exposure to high sustained Gz (+). *Aviat. Space Environ Med* 1975; 45(10): 1241-3.
- Burton RR, Shaffstall RM. Human tolerance to aerial combat maneuvers. *Aviat Space Environ Med* 1980; 51(7): 641-8.
- Jhonson RL, Burgo MW. The diagnostic accuracy of exercise electrocardiography a review. *Aviat Space Environ Med* 1983; 54(2): 150-7.
- Laughlin MH. An analysis of the risk of human cardia damage during Gz (+) a Review. *Aviat Space Environ Med* 1982; 53(5): 423-31.
- Whinnery JE. Acceleration stress-induced Wolff-Parkinson-White Syndrome with marked ST-segment depression. *Aviat Space Environ Med* 1981; 52(11 Pt 1): 654-7.
- Dewell RT, Serdhal LA, Stone HL. Heart biochemical responses 14 days after Gz (+) acceleration. *Aviat Space Environ Med* 1976; 47(11): 1171-3.
- Laughlin MH, Burns JM. Regional coronary blood flow at rest and miniature swine with subclinical ischemic, coronary heart disease due to coronary stenosis. *Aviat Environ Med* 1978; 49(11): 1308-13.
- Lindsey JN, Dowl RT, Stone HL. Ultrastructural effects of Gz (+) stress on swine cardiac muscle. *Aviat Space Environ Med* 1972; 47(5): 505-11.
- Lahtinen TM, Koskelo JP, Laitinen T, Leino TK. Heart rate and performance during combat missions in a flight simulator. *Aviat Space Environ Med* 2007; 78(4): 387-91.
- Whinnery JE. Acceleration-induced atrioventricular dissociation hemodynamic consequences. *Aviat Space Environ Med* 1982; 53(5): 432-4.
- Hanada R, Hisada T, Tsujimoto T, Ohashi K. Arrhythmias observed during high-G training: proposed training safety criterion. *Aviat Space Environ Med* 2004; 75: 688-91.
- Sides MB, Vernikos J, Convertino VA, Stepanek J, Tripp LI D, Draeger J, et al. The Bellagio Report: Cardiovascular Risks of Space-flight: Implications for the Future of Space Travel. *Aviat, Space, Environ Med* 2005; 76(9): 877-95.