

## **Incidencia de arritmia cardíaca por efecto Gz en el Curso Básico Conjunto de Aviador Militar de la Escuela de Aviación Militar**

*Incidence of cardiac arrhythmia due to the Gz effect in the Joint military basic pilot training course of the School of Military Aviation*

GUSTAVO JAVIER CHAMIZO

Hospital Aeronáutico Córdoba, Fuerza Aérea Argentina.

Escuela de Aviación Militar, Facultad de la Fuerza Aérea,

Universidad de la Defensa Nacional, Argentina.

Instituto Nacional de Medicina Aeronáutica y Espacial, Facultad

de la Fuerza Aérea, Universidad de la Defensa Nacional, Argentina

[gustavochamizo0@gmail.com](mailto:gustavochamizo0@gmail.com)

\* con la colaboración de: Capitán Pedro César Plaza Quiroga (médico asesor del Unidad Aérea, EAM.) ; Dra. Miriam Daniela Sotelo, Dra. Ariana Cachi, Ramón Desiderio Romero, José Ignacio Paredi (Instituto Nacional de Medicina Aeronáutica y Espacial).

*Introducción: Las aceleraciones (efecto Gz) inducen cambios hemodinámicos que activan respuestas cardiovasculares reflejas; durante el entrenamiento con centrífuga humana provocan arritmias cardíacas, pero existe poca investigación durante el vuelo real. Objetivos: conocer la incidencia de arritmia cardíaca secundaria a efecto Gz durante el vuelo real en los instructores y alumnos del Curso Básico Conjunto de Aviador*

*Militar (CBCAM) de la Escuela de Aviación Militar (EAM). Criterios de inclusión: instructores y alumnos del CBCAM de la EAM que se encuentren cursando el capítulo de vuelo "Acrobacia Doble Comando". Método: Se colocaron electrocardiogramas holter a instructor y alumno, una hora antes del despegue y se les sacó una hora después del aterrizaje. Resultado: se estudió a 20 participantes, 4 instructores y 16 alumnos. Se encontró taquicardiasinusal en el 100%, arritmiasinusal en 60%, extrasístole supraventricular en 30%, ritmo auricular bajo en 5% y patrón de pre-excitación ventricular en 5%. Conclusión: exceptuando la taquicardia sinusal, se observó una incidencia de arritmia en el 60% de los casos, siendo la más frecuente la arritmia sinusal. No se objetivaron arritmias potencialmente malignas. Los hallazgos permitieron detectar alumnos del CBCAM que requirieron mayor estudio contribuyendo a la seguridad de vuelo.*

## **1. Introducción**

*Aceleraciones, fuerza o efecto G, arritmia cardíaca*

La aceleración es la variación de la velocidad de un cuerpo en movimiento en la unidad de tiempo. Desde el punto de vista aeronáutico, son cambios de velocidad y/o dirección de una aeronave en función del tiempo.

En la superficie terrestre, los humanos están sometidos a la fuerza constante de la gravedad, que se denomina fuerza G y cuyo valor es de 9.81 metros/segundos<sup>2</sup>.

En una aeronave en movimiento, al acelerar, reducir la velocidad o cambiar de dirección, tanto la máquina como el cuerpo del aviador experimentan una aceleración en sentido contrario, denominado efecto o fuerza G. Si la fuerza G es aplicada sobre el eje longitudinal del cuerpo, se denomina fuerza Gz. Se denomina Gz+ cuando esta se aplica en sentido cabeza-pie y Gz- cuando la fuerza inercial va desde los pies

hacia la cabeza. Según su intensidad, se clasifica de menor a mayor en 1Gz, 2Gz, 3Gz, etc. (Manual de Medicina Aeronáutica, Fuerza Aérea Argentina, 2012)

Las aeronaves, principalmente de combate, son sometidas a maniobras que generan diferentes tipos de aceleraciones. El despegue, las maniobras de aproximación, viraje y maniobras acrobáticas son ejemplos de aceleraciones a las que se ve sometido un aviador militar en formación.

La fuerza o efecto Gz causa alteraciones fisiológicas en el organismo humano, entre los que se destacan trastornos en la visión, en el sistema nervioso central y en el aparato cardiovascular.

A nivel cardiovascular, se destaca la aparición de arritmias cardíacas, que podríamos definir como cualquier trastorno en el ritmo cardíaco secundario a una alteración en la formación y/o transmisión del impulso eléctrico del sistema de conducción cardíaco normal.

La centrífuga humana es un sistema de simulación que genera dinámicamente fuerza G con el objetivo de replicar de manera auténtica un entorno de vuelo táctico al simular el efecto G de una aeronave. Es un buen método de adiestramiento de los aviadores militares y se utiliza en algunos países para estudiar la tolerancia del organismo humano, incluida la aparición de arritmias cardíacas.

#### *Antecedentes de arritmias cardíacas en relación a fuerza o efecto G*

La mayoría de las arritmias observadas en el entrenamiento con centrífuga humana son respuestas fisiológicas al estrés elevado del efecto Gz. Sin embargo, se producen ocasionalmente arritmias potencialmente peligrosas durante el entrenamiento en sujetos aparentemente sanos como taquicardia ventricular (TV), taquicardia paroxística supraventricular (TPSV) o asistolia.

Hanada R, Hisada T, Tsujimoto T, Ohashi K. (2004), revisaron las arritmias durante el entrenamiento con centrífuga de 195 pilotos de caza de la Fuerza Aérea de Japón, desde abril de 2001 a marzo de 2003 y encontraron arritmia sinusal (48,7%), extrasístoles supraventriculares (ESV) aisladas (32,3%), extrasístoles ventriculares (EV) aisladas (58,5%) y en duplas (9,7%), consideradas variantes fisiológicas al efecto Gz. Además, se observó TV (2,6%), TPSV (1,5%) y fibrilación auricular paroxística (0,5%). La investigación posterior de estos pilotos reveló una proporción importante de anomalías cardíacas, por lo que consideran a estas arritmias criterios de suspensión del entrenamiento y derivación a especialista. El bloqueo auriculoventricular (BAV) de II grado Mobitz I se consideró una variante *borderline*, lo que deja a criterio del médico actuante la suspensión del entrenamiento.

Ji GY, Zheng J, Jin JS, Wang LJ (2001) estudiaron la relación entre la intolerancia ortostática (regulación de sistema nervioso autónomo) y la tolerancia a la Gz, y observaron que los pilotos con hipotensión ortostática tenían menos tolerancia y más arritmias cardíacas.(4.)

Chung KY, Lee SJ (2001) realizaron un estudio descriptivo en 35 pilotos de caza de F16 con registros electrocardiográficos una hora antes del despegue y una hora después del aterrizaje. El promedio de horas de vuelo de los pilotos era de 1475 hs. Observaron arritmia en 17 pilotos (49%). De ellos, 11 pilotos (11,4%) antes del despegue, 16 pilotos (45,7%) en vuelo y 4 pilotos (11,4%) después del aterrizaje. La mayoría de las arritmias se registraron con menos de 3 Gz. Durante el vuelo, se observaron EV monomorfas (8,6%); ESV (11,4%) y EV bigeminadas (2,9%). Ocho pilotos (22,9%) experimentaron arritmias combinadas.

McKenzie I, Gillingham KK, (1993) reportaron la incidencia de arritmia durante el entrenamiento con centrífuga en 1180 sesiones de entrenamiento entre los años 1984 y 1991. Se observaron arritmias cardíacas en 552 sesiones (47%). EV en

480 (41%) y ESV en 127 (11%) de las sesiones. La aparición de TV fue causa de interrupción del entrenamiento en 26 sesiones (2,2%), incluyendo 18 tripletas ventriculares (1,5%), 9 duplas ventriculares, 8 episodios de EV muy frecuentes (0,7%), 4 TPSV (0,3%), 2 latidos con conducción aberrante (0,2%) y 4 bradicardias (0,3%).

Lu X, Chu X, Zhou J, Yan G, Hui Y (1997) registraron y analizaron el electrocardiograma de 47 sujetos sanos durante el entrenamiento en la centrífuga a altas Gz y observaron una alta incidencia de arritmia (87%), que se volvía más frecuente a medida que aumentan los niveles de Gz. Se observó que los sujetos con bradicardia, inmediatamente después del efecto Gz, tenían menor tolerancia.

Por lo tanto, las aceleraciones inducen cambios hemodinámicos que activan respuestas cardiovasculares reflejas causando inestabilidad eléctrica y provocando arritmias.

Es bien sabido que la aceleración durante el entrenamiento con centrífuga provoca arritmias cardíacas, pero existe poca investigación con respecto a la arritmia cardíaca durante el vuelo real.

## **2. Objetivos**

Conocer la incidencia de arritmia cardíaca secundaria a efecto Gz durante el vuelo real en los instructores y alumnos del Curso Básico Conjunto de Aviadores Militares (CBCAM) de la Escuela de Aviación Militar (EAM).

Identificar arritmias cardíacas potencialmente peligrosas que podrían alterar la seguridad de vuelo y requerir estudios cardiológicos especializados.

### **3. Criterios de inclusión**

Instructores y alumnos del CBCAM de la EAM que se encuentren cursando el capítulo de vuelo “Acrobacia Doble Comando” sometidos a fuerza o efecto Gz.

### **4. Método**

Se realizó una investigación descriptiva, transversal con un diseño observacional. Se estudió a instructores y alumnos del Escuadrón Instrucción Aérea II del CBCAM entre febrero y diciembre de 2018 pertenecientes al sistema de arma T-6C Texan II durante el cursado del capítulo “Acrobacia Doble Comando”, sometidos a fuerza Gz por maniobras acrobáticas militares.

El Escuadrón de Instrucción aérea II contaba con 9 instructores y 22 alumnos. Se descartaron 5 instructores y 6 alumnos debido a que presentaron cierta reticencia al considerarse “evaluados” por el estudio, por lo que se respetó su decisión.

El total de la muestra fue de 20 participantes, constituida por 4 instructores y 16 alumnos. Con respecto a la distribución de género, el 100% fueron hombres. Los instructores son aviadores militares con especialidad en aviones de caza (75%) y transporteros (25%).

Los alumnos son oficiales egresados del cursado de cadete en la Escuela de Aviación Militar (EAM) y son incorporados a través de una selección exhaustiva para participar del Curso Básico Conjunto de Aviador Militar y pertenecer al escalafón Aire.

Tanto los instructores como los alumnos deben hacerse un examen psicofísico anual reglamentario para poder realizar la actividad de vuelo realizado en el Instituto Nacional de Medicina Aeronáutica y Espacial (INMAE). Allí, se les realiza un examen cardiovascular con un trazado electrocardiográfico

de doce derivaciones. Todos los participantes cuentan con un electrocardiograma en tierra dentro de parámetros normales.

La EAM cuenta con los siguientes sistemas de armas para cumplir con el adiestramiento de los futuros aviadores militares: aeronaves alemanas (Grob G120TP), aeronaves italianas (Tecnam 2002JF), aeronaves brasileñas (Embraer Emb-312 Tucano) y las recientemente incorporadas aeronaves estadounidenses T-6C Texan II.

Se realizó el estudio en del sistema de armas T-6C Texan II, debido a que es la aeronave con mayor tecnología que tiene la EAM para adiestramiento, capaz de realizar todo tipo de maniobra acrobática militar implicando la exposición a fuerza Gz. Además, cuenta con trajes anti-G (Garment, Cutaway, CSU-13B/P) para aumentar la tolerancia del aviador.

Se les colocó equipo de electrocardiograma holter de 3 canales marca CardioVex al instructor y al alumno dentro de la misma aeronave, una hora antes del despegue, se mantuvo durante el vuelo y, finalmente, se les sacó el equipo una hora después del aterrizaje. Los 4 instructores fueron evaluados en más de una ocasión con diferentes alumnos.

Se analizó el trazado electrocardiográfico registrado por dos médicos cardiólogos, correlacionando las alteraciones observadas con el momento en que se aplicó fuerza Gz durante maniobras acrobáticas y con la presencia o ausencia de sintomatología del piloto.

## **5. Resultado**

Se estudió un total de 20 participantes, 4 instructores y 16 alumnos. El promedio de horas de vuelo en los alumnos fue de 150 horas. El promedio de horas de vuelo de los instructores fue de 1200 horas.

El sistema de armas utilizado fue el avión militar T-6C Texan II. La máxima Gz+ aplicada fue 5Gz+ en todos los

vuelos (Figura 1).

La edad promedio de los alumnos fue de 25,5 años. La edad promedio de los instructores fue de 30,5 años.

La frecuencia cardíaca (FC) promedio, máxima y mínima de los alumnos fue de 105, 170 y 70 latidos por minuto (lmp), respectivamente.

La FC promedio, máxima y mínima de los instructores fue de 83, 113 y 64 lpm, respectivamente.

Se encontró taquicardia sinusal en el 100% de ellos, lo que coincidió con la aplicación de 5 Gz+ (Figura 2), arritmia sinusal respiratoria o fásica en 60% (Figura 3); extrasístole supraventricular en 30%, ritmo auricular bajo en 5% (Figura 4) y patrón de pre-excitación ventricular en 5% (Figura 5), (Tabla 1, Tabla 2)

A excepción del patrón de pre-excitación ventricular objetivado durante todo el estudio, no se observaron arritmias cardíacas antes del despegue ni posterior al aterrizaje.

**TABLA 1**

*Incidencia de arritmias cardíacas en instructores del CBCAM” (TS: Taquicardia Sinusal; AS: Arritmia Sinusal; RAB: Ritmo Auricular Bajo; PPV: Patrón de Pre-excitación Ventricular; ESV: Extrasístole Supraventricular)*

Instructores	TS	AS	RAB	PPV	ESV	Síntomas
1	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>
2	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>
3	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>
4	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>

**TABLA 2**

*Incidencia de arritmias cardíacas en alumnos del CBCAM” (TS: Taquicardia Sinusal; AS: Arritmia Sinusal; RAB: Ritmo Auricular Bajo; PPV: Patrón de Pre-excitación Ventricular; ESV: Extrasístole Supraventricular).*

Alumnos	TS	AS	RAB	PV	ESV	Síntomas
1	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>
2	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>
3	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
4	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>
5	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>
6	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>
7	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>
8	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>
9	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>
10	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>Sí</b>
11	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>
12	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>
13	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>
14	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>
15	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>
16	<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>	<b>No</b>

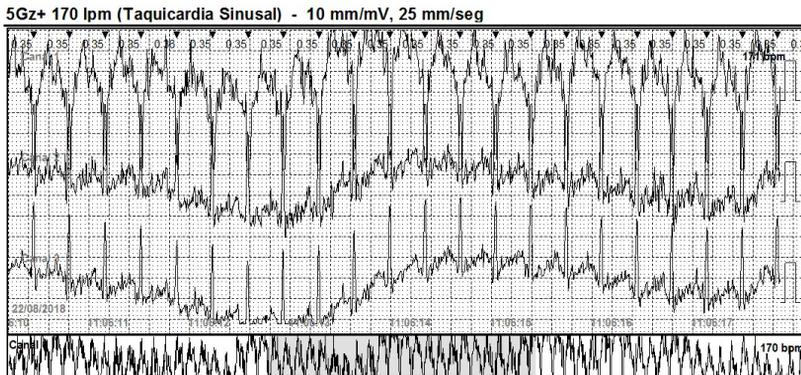
## FIGURA 1

*T-6C Texan II. Foto real de aeronave militar volando en las inmediaciones de la Escuela de Aviación Militar.*



## FIGURA 2

*“Taquicardia sinusal”. Electrocardiograma holter que muestra frecuencia cardíaca a 170 lpm, lo que coincide con la aplicación de 5 Gz+ en alumno del CBCAM.*



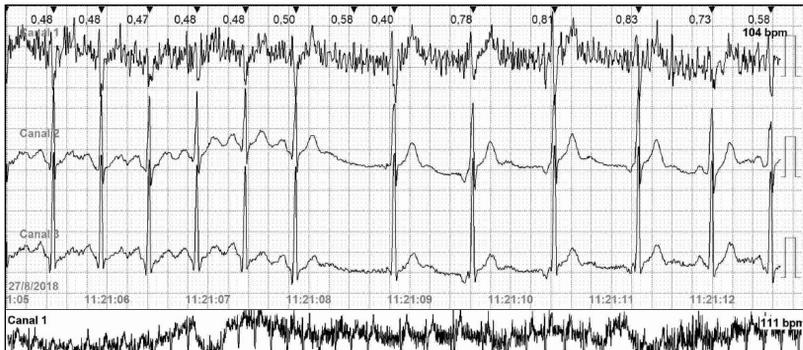
### FIGURA 3

*“Arritmia sinusal respiratoria o fásica”. Electrocardiograma holter que muestra irregularidad marcada de los complejos qRs coincidiendo con la aplicación de 5 Gz+ en alumno del CBCAM.*



### FIGURA 4

*“Ritmo auricular bajo”. Electrocardiograma holter que muestra irregularidad marcada de los complejos qRs con posterior aplanamiento y negatividad de la onda p, coincidiendo con la aplicación de 5 Gz+.*



## FIGURA 5

*“Patrón de pre-excitación ventricular”. Electrocardiograma holter que muestra conducción auriculoventricular acelerada, empastamiento inicial del qRs (onda delta) y trastornos inespecíficos de la repolarización ventricular en alumno del CBCAM.*



## 6. Conclusiones

No se objetivaron arritmias cardíacas antes del despegue ni posterior al aterrizaje. Exceptuando la taquicardia sinusal, se observó una incidencia de arritmia cardíaca del 60%. La más frecuente fue la arritmia sinusal respiratoria, lo que coincidió con estudios previos.

No se observaron arritmias cardíacas potencialmente malignas inducidas por efecto Gz. Se detectó en un alumno un caso de patrón de pre-excitación ventricular previo al vuelo no inducido por efecto Gz, que persistió durante todo el registro, por lo cual se derivó para estudio posterior.

Se observó en un alumno un caso de ritmo auricular bajo que presentó síntomas (náuseas y mareos) coincidiendo con la aplicación de fuerza Gz+, por lo cual se derivó a estudio posterior.

La adaptación cardiovascular (respuesta cronotrópica) fue mejor en los instructores, ya que mostró menor frecuencia

cardíaca y mejor recuperación post-efecto Gz.

Los resultados del estudio permitieron identificar alumnos del CBCAM que requieren de mayor estudio, lo que contribuye a la seguridad de vuelo.

## **Agradecimientos**

*A la Universidad de la Defensa Nacional (UNDEF), porque a través de su programa de investigación y desarrollo para la defensa (PIDDEF) permitió financiar esta investigación.*

*Al Grupo Aéreo de la Escuela de Aviación Militar, por la buena predisposición para participar del estudio.*

*A mi señora esposa por la paciencia que me brinda en cada proyecto que realizo.*

## Referencias bibliográficas

- Chung KY, Lee SJ. (2001). Cardiac arrhythmias in F-16 pilots during aerial combat maneuvers: a descriptive study focused on G-level acceleration. *Aviat Space Environ Med.* 72:534-8.
- Hanada R, Hisada T, Tsujimoto T, Ohashi K. (2004). Arrhythmias observed during high-G training: proposed training safety criterion. *Aviat Space Environ Med*; 75:688-91.
- Ji GY, Zheng J, Jin JS, Wang LJ. (2001). Cardiac arrhythmias in pilots under positive (+Gz) acceleration. *Space Med Med Eng (Beijing)*;14:54-6.
- KohCH, FooD, NgKS, ChongCH. (2009). Electrocardiographical case. Narrow complex tachycardia provoked by the Valsalva manoeuvre. *Singapore Med J*; 50:438-40.
- Lu X, Chu X, Zhou J, Yan G, Hui Y. (1997). ECG changes during high G centrifuge training *Space Med Med Eng (Beijing)*;10:62-4.
- McKenzie I, Gillingham KK. (1993). Incidence of cardiac dysrhythmias occurring during centrifuge training. *Viat Space Environ Med*; 64:687-91.
- Zawadzka-Bartczak EK; Kopka, LH. (2004). Centrifuge braking effects on cardiac arrhythmias occurring at high +Gz acceleration. *Aviat Space Environ Med.*; 75:458-60.

**Palabras clave:** *Arritmia cardíaca – efecto Gz – aviador militar.*

**Key words:** *Cardiac arrhythmia – Gz effect – military pilot.*

## **Abstract**

**Introduction:** Accelerations (Gz effect) induce hemodynamic changes that activate reflex cardiovascular responses. During training with centrifuges, cardiac arrhythmias occur, but there is little research during the flight. **Objectives:** To know the incidence of cardiac arrhythmia to the Gz effect during the flight in the instructors and students of the Joint Basic Course of Military Aviator (CBCAM) of the Military Aviation School (EAM). **Inclusion Criteria:** Instructors and students of the CBCAM of the EAM who are studying the chapter of the flight “Acrobatics Double Commando”. **Method:** holter electrocardiograms were placed to the student and the instructor one hour before the takeoff and were removed one hour later. **Result:** 20 participants were studied, 4 instructors and 16 students. Sinus tachycardia was found in 100%, sinus arrhythmia in 60%, supraventricular extrasystoles in 30%, low atrial rhythm in 5% and ventricular pre-excitation pattern in 5%. **Conclusion:** With the exception of sinus tachycardia, there was cardiac arrhythmia in 60% of the participants. The most frequent was sinus arrhythmia, no potentially malignant arrhythmias were observed. The findings made possible to detect CBCAM students who required further study contributing to flight safety.