

Aus der
Kerckhoff-Klinik Bad Nauheim
Abteilung Kardiologie
und der
Medizinische Klinik I / Zentrum für Innere Medizin
des Universitätsklinikums Gießen und Marburg, Standort Gießen
Leiter: Prof. Dr. med. C. Hamm

**Kardiovaskuläre Risikostratifizierung in der Flugmedizin
und in anderen Hochrisikoberufen**

Habilitationsschrift
zur Erlangung der Venia legendi
des Fachbereiches Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
Dr. med. Norbert Güttler

Gießen 2022

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
1.1.	Kardiovaskuläres Screening in der Flugmedizin und in anderen Hochrisikoberufen	1
1.2.	Arbeitsumgebung und besondere Belastungen des fliegenden Personals	3
1.3.	Vorschriften und Regelungen in der Flugmedizin	7
1.4.	Kardiovaskuläre Risikostratifizierung in der Flugmedizin	9
1.4.1.	Die 1%-Regel	9
1.4.2.	Dreidimensionale Risikomatrix.....	11
1.4.3.	Andere Modelle zur Risikostratifizierung	14
1.5.	Weitere Aspekte bei der kardiovaskulären Risikostratifizierung in Hochrisikoberufen	15
1.6.	Zielsetzung der Arbeit	17
2.	Eigene Publikationen	19
2.1.	Auffällige elektrokardiographische Befunde beim Screening von militärischem fliegendem Personal in Deutschland.....	19
2.2.	Die Rolle des Belastungs-EKGs beim Screening von militärischem fliegendem Personal der Bundeswehr	26
2.3.	Kardiovaskuläre Risikoprofile bei deutschen Militärpiloten und -pilotinnen	34
2.4.	Die Wiederaufnahme des Flugdienstes nach Katheterablationen von Herzrhythmusstörungen beim fliegenden Personal der Bundeswehr.....	43
2.5.	Die Prävalenz des Gebrauchs von Nahrungsergänzungsmitteln bei Militärpiloten und -pilotinnen – Ergebnisse einer Untersuchung in der deutschen Bundeswehr.....	51
2.6.	Wiederaufnahme des Flugdienstes deutscher Militärpiloten und -pilotinnen nach COVID-19.....	58
3.	Diskussion	65
4.	Zusammenfassende Darstellung	79
5.	Abkürzungsverzeichnis	82
6.	Der Habilitationsschrift zugrundeliegende Publikationen.....	84

7.	Zitierte Literatur	85
8.	Abbildungsverzeichnis	92
9.	Tabellenverzeichnis	95
10.	Erklärung über die eigenständige Anfertigung der Arbeit	98
11.	Anhang	99
	Tabellarischer Lebenslauf	100
	Publikationsverzeichnis des Verfassers	105
	Danksagung	109
	Der Habilitationsschrift zugrundeliegende Publikationen	110

1. Einleitung

1.1. Kardiovaskuläres Screening in der Flugmedizin und in anderen Hochrisikoberufen

Die Flugsicherheit und die planmäßige Durchführung des Flugauftrags sind entscheidend von der Gesundheit und der körperlichen Fitness des fliegenden Personals, vor allem der Piloten und Pilotinnen abhängig. Die Erfüllung dieser Anforderungen wird durch Untersuchungen vor Berufsantritt sowie durch regelmäßige Nachuntersuchungen während des ganzen Berufslebens sichergestellt. Dabei spielt das kardiovaskuläre System eine besondere Rolle, weil insbesondere durch plötzlich auftretende kardiovaskuläre Ereignisse wie etwa einem akutem Koronarsyndrom oder einer anhaltenden Arrhythmie eine plötzliche Handlungsunfähigkeit (sogenannte Sudden Incapacitation) hervorgerufen werden kann. Aber auch nur die bloße Ablenkung von Piloten oder Pilotinnen durch Symptome kann zu Flugunfällen und –zwischenfällen führen [1, 2]. Andererseits kann das kardiovaskuläre System in Abhängigkeit vom geflogenen Flugzeugmuster und dem Flugauftrag hohen Belastungen wie etwa hohen Beschleunigungskräften ausgesetzt sein, die auch bei leichteren Erkrankungen oder Anomalitäten zu Komplikationen führen können, obwohl sie unter Alltagsbedingungen auf dem Boden unbemerkt bleiben würden.

Dabei befindet sich der/die begutachtende Aeromedical Examiner (AME) in einer besonderen Lage. Kurativ tätige Kardiologen und Kardiologinnen befassen sich hauptsächlich mit der Diagnostik, Therapie und Prävention definierter Erkrankungen. Dabei können sie sich auf große randomisiert kontrollierte Studien, Leitlinien anerkannter Fachgesellschaften und Konsensus-Empfehlungen von Experten und Expertinnen abstützen. In der flugmedizinischen Begutachtung werden dagegen häufig asymptomatische, vermeintlich gesunde Probanden und Probandinnen untersucht, die das Begutachtungsergebnis für die Aufnahme oder Fortführung ihrer beruflichen Tätigkeit benötigen. Falls bei einer solchen Begutachtung

Erkrankungen diagnostiziert werden, die möglicherweise lebensbedrohlich sind, werden sie nach den einschlägigen Leitlinien therapiert. Eine Risikostratifizierung hinsichtlich des ausgeübten Berufes ist in solchen Fällen oft leicht möglich. Häufig werden jedoch bei solchen Personen Zufallsbefunde erhoben, deren Risiko für die weitere Berufsausübung zunächst unklar ist. Dies betrifft häufig Probanden und Probandinnen in jungem Lebensalter, für die die vorhandene wissenschaftliche Literatur auf dem Gebiet der Kardiologie oft nur unzureichend anwendbar ist. Vielfach ist eine wissenschaftliche Evidenz kaum vorhanden. Trotzdem muss der Gutachter bzw. die Gutachterin, bei fliegendem Personal der/die AME, eine gut fundierte Entscheidung treffen, die eventuell mit dem Verbot der Berufsausübung oder zumindest mit Einschränkungen, etwa dem Fliegen mit Doppelsteuerauflage, also mit einem zweiten lizenzierten Piloten oder einer Pilotin mit Musterberechtigung für den jeweiligen Flugzeugtyp, einhergehen kann. Für eine solche Entscheidungsfindung sind eingehende Kenntnisse der Arbeitsumgebung sowie besonderer physikalischer Belastungen des fliegenden Personals erforderlich. In Westeuropa sind etwa 50% der dauerhaften oder vorübergehenden Entzüge von Pilotenlizenzen auf kardiovaskuläre Ursachen zurückzuführen [3-5].

Die fehlende wissenschaftliche Evidenz für weite Teile der flugmedizinischen Begutachtung führt dazu, dass Entscheidungen des Gutachters bzw. der Gutachterin hinterfragt werden, umso mehr als sowohl durch das Personal als auch durch den Arbeitgeber oder die Arbeitgeberin für Erhalt und Aufrechterhaltung von Fluglizenzen erhebliche finanzielle Investitionen getätigt wurden. Hinzu kommt, dass sich der Zeitpunkt der Zuruhesetzung bzw. Berentung für Piloten und Pilotinnen in den letzten Jahrzehnten häufig zu einem höheren Alter von etwa 65 Jahren hin verschoben hat.

Die flugmedizinische Begutachtung ist durch Vorschriften der lizensierenden Behörden geregelt. Diese Vorschriften werden jedoch unregelmäßig und meist in großen Zeitabständen überarbeitet und bilden deshalb häufig nicht den aktuellen Stand der Wissenschaft ab. An vielen Stellen sind sie vage und wenig detailliert.

Die Vorschriften für andere Hochrisikoberufe sind häufig nicht so umfangreich und die Ansätze zur Risikostratifizierung nicht so weit entwickelt wie die in der Flugmedizin. Prinzipiell stellen sich aber die gleichen Fragen der gesundheitlichen Eignung auch für Berufsgruppen wie Berufskraftfahrer*innen (LKW oder Personenbeförderung), Lokführer*innen, Feuerwehrleute, Polizisten und Polizistinnen, Berufstaucher*innen sowie Arbeiter*innen auf Bohrinselfen oder Polarstationen. Auch hier sind medizinische Untersuchungen und eine sorgfältige Risikostratifizierung auf der Grundlage der erhobenen Befunde entscheidend.

1.2. Arbeitsumgebung und besondere Belastungen des fliegenden Personals

Der Begriff „fliegendes Personal“ ist im zivilen und militärischen Bereich unterschiedlich definiert. Im zivilen Bereich unterscheidet man normalerweise Piloten und Pilotinnen von Kabinenpersonal (Flugbegleiter*innen). Für Fluglotsen und Fluglotsinnen (Air Traffic Controller [ATCO]) gibt es eigene Tauglichkeitsrichtlinien. Im militärischen Bereich gibt es neben den Piloten und Pilotinnen eine Vielzahl weiterer Besatzungsangehöriger von Luftfahrzeugen, die sich mit der Navigation, der Bedienung von Waffen-, Radar- oder Kommunikationssystemen befassen. Weiterhin gibt es unter anderem Bordtechniker*innen, Ladungsmeister*innen, Luftrettungsmeister*innen, Bordsicherungssoldaten und Spezialisten und Spezialistinnen für Luftbetankung.

Ebenso vielfältig sind die geflogenen Luftfahrzeuge, die grob in Hubschrauber und Flächenflugzeuge einteilen werden können [6]. Hubschrauber können entweder von einem oder von zwei Piloten oder Pilotinnen geflogen werden und operieren oft in geringen Höhen. Bei Flächenflugzeugen kann zwischen High-Performance- (Hochleistungs-) und Low-Performance-Flugzeugen unterscheiden werden. Im militärischen Bereich gehören die sehr leistungs- und manövrierfähigen Kampffjets zu den High-Performance-Flugzeugen. Sie werden meistens von nur einem Piloten oder einer Pilotin geflogen, zum Teil mit einem/einer zusätzlichen Navigator*in oder Waffensystemoffizier*in, und sind mit Schleudersitzen

ausgestattet. Weiterhin sind sie durch die Einwirkung von hohen und sich schnell ändernden Beschleunigungs- oder G-Kräften (Gravitational Forces) auf den oder die Besatzungsangehörige(n) charakterisiert. Aber auch im zivilen Bereich werden High-Performance-Flugzeuge eingesetzt, beispielsweise hoch leistungsfähige Propellermaschinen für „Aerobatics“, also im Kunstflug. Low-Performance-Flugzeuge sind dagegen schwere Jets oder Propellerflugzeuge, die zum Transport von Passagieren oder Material eingesetzt werden oder auch kleinere, weniger leistungsfähige Propellerflugzeuge.

Die Beschleunigungskräfte, die auf das Flugzeug und den Piloten oder die Pilotin einwirken, sind zentrifugale Gravitationskräfte, die im Körper entlang verschiedener Achsen wirken können: die x-Achse verläuft dabei von ventral nach dorsal, die y-Achse von rechts nach links und die z-Achse von cranial nach caudal (Abbildung 1). In der Fliegerei besonders relevant ist die Beschleunigungskraft entlang der z-Achse, wobei Beschleunigungskräfte von cranial nach caudal als positive G-Kräfte ($+G_z$) und von caudal nach cranial als negative G-Kräfte ($-G_z$) bezeichnet werden. Positive G-Kräfte entlang der z-Achse treten typischerweise beim Abfangen aus einem Sturzflug oder im Kurvenflug auf. Sie können beim Eurofighter bis $+9G_z$ betragen, und entsprechen damit dem neunfachen der Erdanziehungskraft. Eine zerebrale Minderdurchblutung durch Absacken des Blutes in die unteren Extremitäten, die zunächst zum Greyout, dann zum Blackout und schließlich zur Bewusstlosigkeit (Loss of Consciousness [G-LOC]) führen kann, werden beispielsweise in Kampfflugzeugen durch Anti-G-Anzüge, spezielle Atemtechniken und Überdruckbeatmung durch die Maske (Positive Pressure Breathing [PPB]) vermieden. Trotzdem stellen hohe G-Kräfte eine hohe Belastung für das kardiovaskuläre System dar, da sich nicht nur die Form des Herzens unter G-Belastungen ändert (Abbildung 2) [7], sondern auch das Auswurfvolumen abnimmt (Tabelle 1) [8].

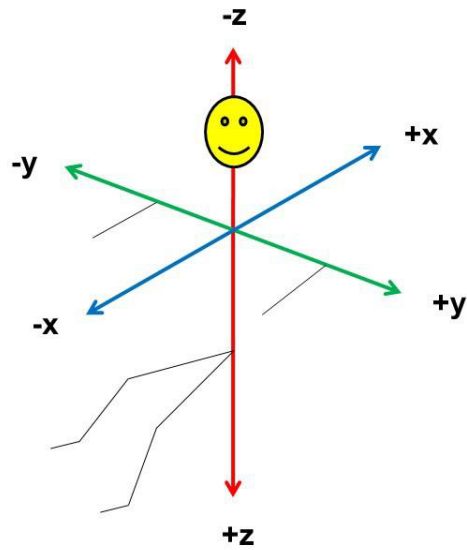


Abbildung 1: Koordinatensystem zur Richtungsbestimmung der Beschleunigungskräfte.

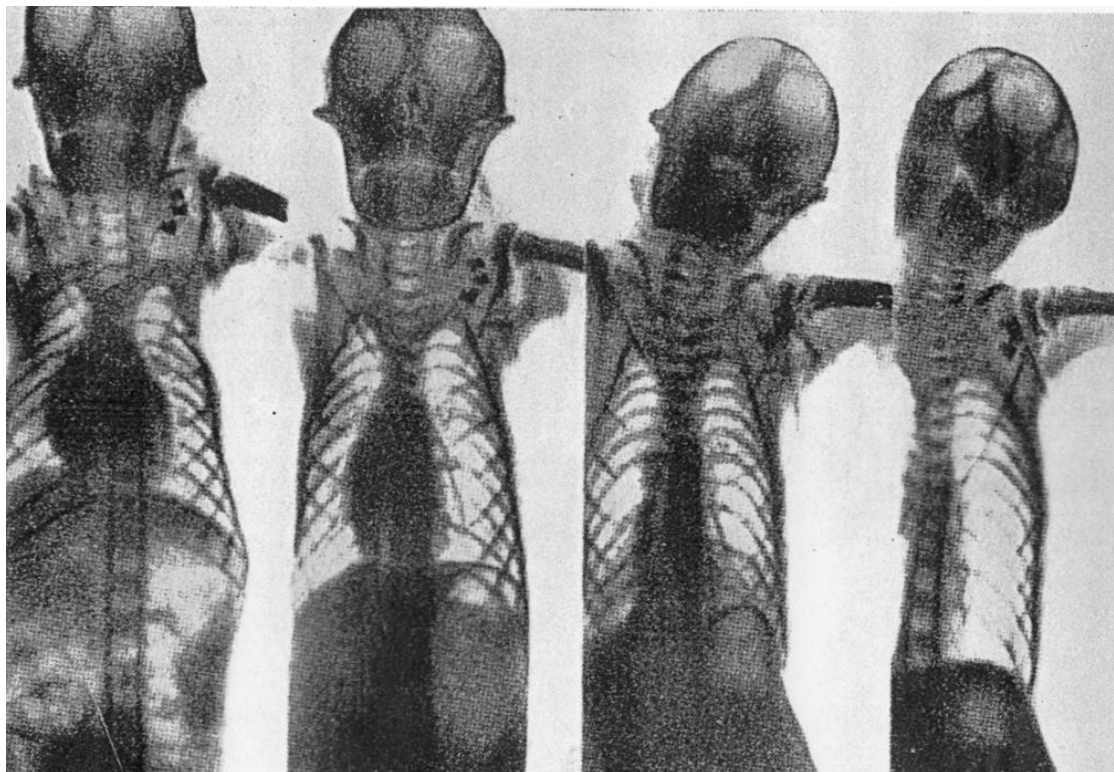


Abbildung 2: Thorax-Röntgenaufnahmen eines Schimpansen unter Belastung in der Zentrifuge mit +1 G_z (ganz links), +2 G_z , +4 G_z und +6 G_z ganz rechts). Die Elongation des Herzens und des Mediastinums ist deutlich zu erkennen [7].

Tabelle 1: Effekt eines leichten Anstiegs der G-Belastung auf Herzschlagfrequenz, Schlagvolumen und Herzzeitvolumen [8].

G-Belastung	+2 G_z	+3 G_z	+4 G_z
Herzschlagfrequenz (1/min)	+ 14	+35	+56
Schlagvolumenindex (ml/m ²)	-24	-37	-49
Herzzeitvolumen (% Änderung)	-7	-18	-22

Wenn positive auf negative G-Kräfte folgen (Push-Pull-Manöver), kann das zu einer Verzögerung der Sympathikusaktivierung und so zu einer Reduzierung der G-Toleranz führen [9]. Kardiale Pathologien wie Pumpfunktionseinschränkungen, Koronarstenosen oder leichtgradige Klappenstenosen können sich unter diesen Bedingungen besonders negativ auswirken. Auch Medikamente, die einer Sympathikusaktivierung unter G-Belastungen und so einer Bedarfstachykardie entgegenwirken, wie etwa Betablocker, können die G-Toleranz beeinträchtigen [6].

Ein weiterer Belastungsfaktor ist die Hypoxie, die ab einer Höhe von 10.000 ft (~3.048 m) die Zufuhr von Sauerstoff und ab ca. 40.000 ft (~12.192 m) zusätzlich eine Druckerhöhung des zugeführten Sauerstoffs erforderlich macht (hypobare Hypoxie). Passagierflugzeuge verfügen über eine Druckkabine, deren Druck dem in einer Höhe von 5.000 bis 8.000 ft (~1.524 m bis ~2.438 m) entspricht. Die Luft in Druckkabinen ist in der Regel sehr trocken. In Kampfflugzeugen oder bestimmten Aufklärungsflugzeugen, die in extremer Höhe fliegen, ist der Umgebungsdruck in der Kabine deutlich geringer, so dass mit Maske, zum Teil mit Überdruckatmung oder sogar mit kompletten Druckanzügen geflogen werden muss. Dies dient zudem der Vorsorge für einen kompletten Druckverlust in der Kabine oder für einen Schleudersitz-Ausschuss. Auch aus diesen Gründen müssen das kardiovaskuläre und das respiratorische System bei Piloten und Pilotinnen solcher Flugzeuge voll funktionsfähig sein.

Weitere mögliche Belastungsfaktoren für das kardiovaskuläre System sind die Verschiebung des zirkadianen Rhythmus, Fatigue (Ermüdung) sowie physischer und psychischer Druck durch den Einsatzauftrag und in der militärischen Fliegerei durch mögliche feindliche Aktivitäten.

Bei einer flugmedizinischen Begutachtung müssen unterschiedliche Belastungsformen in unterschiedlichen Flugzeugtypen und in unterschiedlichen Einsatzszenarien zugrunde gelegt werden. Es muss bekannt sein, in welchen Flugzeugtypen ggf. eine Doppelsteuer-Einschränkung möglich ist.

1.3. Vorschriften und Regelungen in der Flugmedizin

In diesem Kapitel sollen die Tauglichkeitsvorschriften für fliegendes Personal und ATCO näher betrachtet werden. Hinweise zur Mitflugtauglichkeit von Passagieren mit kardiovaskulären Erkrankungen wurden von Smith et al. 2010 zusammengefasst [10]. Dieser Aspekt soll in dieser Arbeit nicht näher behandelt werden.

Die International Civil Aviation Organisation (ICAO) ist eine Sonderorganisation der Vereinten Nationen und wurde mit dem Ziel gegründet, den zivilen Luftverkehr auf internationaler Ebene zu standardisieren. Hierzu wurden International Standards and Recommended Practices (ISARPS) erlassen. Tauglichkeitsrichtlinien sind in einem flugmedizinischen Manual publiziert [11]. Das medizinische Tauglichkeitszeugnis, das für fliegendes Personal und Controller*innen für die Ausübung ihrer Tätigkeit zwingend benötigt wird, wird in der zivilen Luftfahrt durch den/die AME oder in bestimmten Fällen durch den/die Leiter*in eines Aeromedical Center (AeMC) ausgestellt. Der/die AME muss spezielle flugmedizinische Kenntnisse besitzen und benötigt eine Ermächtigung von der nationalen lizensierenden Behörde, in Deutschland dem Luftfahrtbundesamt in Braunschweig für Piloten und Pilotinnen sowie Kabinenpersonal und dem Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung für ATCO. In der deutschen militärischen Luftfahrt werden die Tauglichkeitszeugnisse durch einen flugmedizinischen Sachverständigen bzw.

eine flugmedizinische Sachverständige der Bundeswehr oder durch das Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe ausgestellt. Die lizensierende Behörde für die Bundeswehr ist das Luftfahrtamt der Bundeswehr in Köln.

Das Luftfahrtbundesamt sowie das Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung als zivile lizensierende Behörden unterliegen wie die Behörden der meisten europäischen Staaten den Bestimmungen der Europäischen Union (EU) [12, 13] bzw. der Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit (European Union Aviation Safety Agency [EASA]) [14]. Großbritannien hat eine eigene lizensierende Behörde, die Civil Aviation Authority (CAA) [15], ebenso die USA mit der Federal Aviation Administration (FAA) [16].

Nach den Regularien der EU werden folgende Tauglichkeitsklassen unterschieden: Klasse 1 (Berufspiloten und -pilotinnen), Klasse 2 (Privatpiloten und -pilotinnen), LAPL (Piloten und Pilotinnen von Leichtflugzeugen) und Klasse 3 (ATCO).

Die militärischen Tauglichkeitskriterien sind in der Regel strenger als die zivilen, weil militärische Luftfahrzeugbesatzungen potenziell stärkeren physikalischen Belastungen wie hohen G-Kräften und Hypoxie ausgesetzt sind, weil sie in kriegerischen Szenarien eingesetzt werden können und weil sie sich insbesondere bei Auslandseinsätzen hohen klimatischen Belastungen bei eingeschränkten infrastrukturellen Bedingungen gegenübersehen.

Sowohl im zivilen als auch im militärischen Bereich werden Erstbewerber*innen strenger begutachtet als erfahrene Kräfte, weil bis dahin noch keine finanziellen Mittel in die Ausbildung investiert wurden und die Bewerber*innen notfalls ohne Probleme einen anderen Beruf ergreifen könnten.

1.4. Kardiovaskuläre Risikostratifizierung in der Flugmedizin

In den ersten Jahren der Fliegerei standen technische Defekte als Ursache für Flugunfälle im Vordergrund. Als die Technik später ausgereifter war und das technische Versagen eine immer geringere Rolle spielte, begann man, mehr die anderen Ursachen für Flugunfälle zu analysieren, unter anderem auch die medizinischen Ursachen. Eine flugmedizinische Risikostratifizierung wurde zunächst auf der Grundlage von Expertenmeinungen betrieben. Seit den 1980er Jahren wird die flugmedizinische Risikostratifizierung nach der sogenannten 1%-Regel (oder 1%-Sicherheitsregel) durchgeführt, die besagt, dass das Risiko einer Incapacitation (Handlungsunfähigkeit) aus medizinischen Gründen nicht höher als 1% pro Jahr sein darf. Diese Regel wurde für die kommerzielle Fliegerei mit Doppelsteuer-Cockpit entwickelt. Da sie gewisse Unzulänglichkeiten besitzt, wird bereits in manchen Ländern davon abgewichen.

1.4.1. Die 1%-Regel

Bereits 1973 wurde durch Ian Anderson, einem britischen Flugmediziner, der zunächst der Royal Canadian Air Force beitrug und später Direktor der zivilen Luftfahrtbehörde in Kanada wurde, auf dem 44. Kongress der Aerospace Medical Association ein Konzept vorgestellt, nachdem das akzeptierte medizinische Risiko für einen fatalen Flugunfall an das von Luftfahrtingenieuren und -ingenieurinnen akzeptierte technische Risiko angepasst werden sollte. Letzteres lag damals bei einem fatalen Flugunfall auf 10 Millionen Flugstunden. Dieses Konzept wurde in Großbritannien weiterentwickelt. Auf dem ersten britischen Workshop für „Aviation Cardiology“ wurde dann von Tunstall-Pedoe die später so genannte 1%-Regel vorgestellt [17].

Die 1%-Regel wird wie folgt hergeleitet:

In den 80er Jahren lag die Unfallrate in der kommerziellen Fliegerei insgesamt bei etwa 0,2 pro 1 Million Flugstunden. Als akzeptabler medizinischer Anteil am Gesamtrisiko wurden 0,1 fatale Flugunfälle pro 1 Million Flugstunden festgelegt (1 pro 10^7 Flugstunden). Die Besatzung

sollte als Teil des Systems Flugzeug nicht mehr als 10% Anteil am Gesamtrisiko haben, und der Anteil einer medizinisch begründeten Handlungsunfähigkeit bei einem Piloten oder einer Pilotin sollte nicht mehr als 10% aller durch die Besatzung bedingten Ursachen betragen. Die Rate eines durch eine medizinische Handlungsunfähigkeit bedingten fatalen Flugunfalls sollte danach nicht höher als 1 pro 1000 Millionen Flugstunden sein (1 pro 10^9).

Die durchschnittliche Flugdauer in der kommerziellen Luftfahrt wurde damals mit einer Stunde angenommen, die kritischen Phasen des Fluges, also Start und Landung, machten 10% dieser Zeit, also 6 Minuten, aus. Die Anwesenheit eines zweiten Piloten oder einer zweiten Pilotin, der/die bei einer plötzlichen Handlungsunfähigkeit des/der anderen das Flugzeug übernehmen kann, reduziert das Risiko um den Faktor 100 (basierend auf Simulator-Daten). Aufgrund dieser Annahmen führt nur 1 von 1000 plötzlichen Handlungsunfähigkeiten eines Piloten oder einer Pilotin zu einem fatalen Flugunfall. Bei einer akzeptablen Rate von einem Flugunfall pro 10^9 Flugstunden und der Annahme, dass nur 1 von 1000 plötzlichen Handlungsunfähigkeiten zu einem fatalen Flugunfall führt, ergibt sich eine akzeptable Rate plötzlicher Handlungsunfähigkeiten aus medizinischen Gründen von 1 pro 10^6 Flugstunden. Da das Jahr ungefähr 10.000 Stunden hat (genau 8.760) ist die akzeptable Rate einer plötzlichen Handlungsunfähigkeit pro Jahr 1% ($10^4 \times 10^2 = 10^6$) [18].

Die Herleitung der 1%-Regel kurz zusammengefasst:

- 1 Jahr \approx 10.000 Stunden
- Häufigkeit eines Ereignisses 1% / Jahr \approx 1 pro 10.000 Std. \times 100 = 1 Ereignis pro 10^6 Std.
- Kritische Flugphasen (Start und Landung) 10% der Flugzeit: 1 pro $10^6 \times 10 = 1$ pro 10^7 .
- Übernahme durch Copilot*in in 99 von 100 Fällen möglich: 1 pro $10^7 \times 100 = 1$ pro 10^9 (akzeptierte Rate eines Flugunfalls pro 10^9 Flugstunden).

Die 1%-Regel ist bis heute ein objektives und nützliches Werkzeug zur flugmedizinischen Risikostratifizierung, egal in welchem Fachgebiet. Die Bezifferung des Risikos einer plötzlichen Handlungsunfähigkeit für die einzelne Gesundheitsstörung muss der aktuellen Literatur und

aktuellen Studienergebnissen entnommen werden. Allerdings hat die 1%-Regel auch einige Schwächen. Es wird eine kurze durchschnittliche Flugdauer von einer Stunde zugrunde gelegt, obwohl heute die Flüge tendenziell länger geworden sind. Weiterhin werden nur medizinische Ereignisse betrachtet, die zu einer Handlungsunfähigkeit bei einem Piloten oder einer Pilotin führen. Außerdem wird ein Doppelsteuer-Cockpit vorausgesetzt und angenommen, dass der zweite Pilot oder die zweite Pilotin das Flugzeug im Falle einer Handlungsunfähigkeit des/der ersten während der kritischen Flugphasen Start und Landung in 99 von 100 Fällen sicher übernehmen kann. Außerhalb dieser kritischen Phasen wird bei sicherer Übernahme des Flugzeuges durch den zweiten Piloten oder die zweite Pilotin in 100% der Fälle kein Risiko angenommen. Trotz dieser Einschränkungen erfährt die 1%-Regel immer noch breite Anwendung [19]. Dennoch sind die in dieser Regel vorausgesetzten Annahmen zunehmend umstritten, und es wird diskutiert, ob nicht auch ein jährliches Risiko von 2% oder je nach den Begleitumständen von bis zu 5% akzeptabel sei [20, 21]. Parallel dazu laufen Bemühungen, eine ganz andere Methode zur Risikostratifizierung zu entwickeln.

1.4.2. Dreidimensionale Risikomatrix

Risiko-Matrizes sind ein weiteres Instrument der Risikostratifizierung und werden in vielen Bereichen wie Wirtschaftswissenschaften, Ingenieurwissenschaften und auch in der Medizin eingesetzt. In zweidimensionalen Matrizes kann man die zu erwartende Häufigkeit gegen die Konsequenz eines Ereignisses auftragen.

Für die flugmedizinische Risikostratifizierung wurde durch die kanadische Luftwaffe (Royal Canadian Air Force) eine dreidimensionale Risikomatrix entwickelt, die von der North Atlantic Treaty Organization (NATO) Human Factors and Medicine (HFM)-Research Task Group (RTG)-251 „Occupational Cardiology in Military Aircrew Working Group“ unter Mitwirkung des Verfassers dieser Arbeit modifiziert wurde [18]. Auf der x-Achse eines Koordinatensystems wird in dieser Matrix der zunehmende Schweregrad eines medizinischen Ereignisses (Klasse 1 bis 4) aufgetragen. Der Schweregrad des Ereignisses im Hinblick auf seine Konsequenz

kann dabei je nach verwendender Organisation aus verschiedenen Blickrichtungen angegeben werden. Die kanadische Luftwaffe verwendet hier drei Aspekte, den Einfluss auf die Auftragsdurchführung, auf die Handlungsfähigkeit der betroffenen Person und auf die Notwendigkeit medizinischer Hilfe. Auf der y-Achse wird dagegen die zu erwartende Häufigkeit des medizinischen Ereignisses aufgetragen. Auch diese Häufigkeitseinteilung kann abhängig von der die Matrix verwendenden Organisation variieren, in der Regel orientiert man sich an den einschlägigen Risikoscores. Die dritte Dimension der Matrix fließt in Form der unterschiedlichen Rollen der Besatzungsmitglieder ein. So ist ein medizinisches Ereignis bei einem Piloten oder einer Pilotin für die Flugsicherheit anders zu werten als eines bei einem/einer Bordtechniker*in oder bei einem/einer Flugbegleiter*in. Eine von der NATO HFM-RTG-251 modifizierte dreidimensionale Risikomatrix ist in Abbildung 3 dargestellt.

Medizinischer Vorfall	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
Auswirkung auf den Einsatz	Minimale Auswirkung auf die Einsatzdurchführung	Kann zum Abbruch oder zu verminderter Effektivität führen	Wird wahrscheinlich zu einer Gefährdung der Flugsicherheit führen	Wird wahrscheinlich zu einem flugsicherheitskritischen Ereignis führen
Auswirkung auf die Handlungsfähigkeit	Möglicherweise gesundheitsschädlich, aber minimaler Effekt auf die Handlungsfähigkeit	Auftragsausführung weiter möglich, geringer bis mäßiger Effekt auf die Handlungsfähigkeit	Ausgeprägte Verminderung der Handlungsfähigkeit	Plötzliche völlige Handlungsunfähigkeit (einschließlich plötzlichem Tod)
Erfordernis medizinischer Hilfe	Routinemäßige Nachuntersuchung erforderlich	Medizinische Aufmerksamkeit erforderlich	Kann sofortige medizinische Maßnahmen erfordern	Erfordert sofortige erweiterte medizinische Maßnahmen
Piloten, Kopiloten				
Wahrscheinlich (> 2% / Jahr)				
Möglich (1 – 2% / Jahr)				
Unwahrscheinlich (0,5 – 1% / Jahr)				
Sehr unwahrscheinlich (< 0,5% / Jahr)				
Navigatoren, Bordtechniker, Fluglotse				
Wahrscheinlich (> 2% / Jahr)				
Möglich (1 – 2% / Jahr)				
Unwahrscheinlich (0,5 – 1% / Jahr)				
Sehr unwahrscheinlich (< 0,5% / Jahr)				
Flugbegleiter, Ladungsmeister				
Wahrscheinlich (> 2% / Jahr)				
Möglich (1 – 2% / Jahr)				
Unwahrscheinlich (0,5 – 1% / Jahr)				
Sehr unwahrscheinlich (< 0,5% / Jahr)				

Abbildung 3: Modifizierte dreidimensionale Risikomatrix zur flugmedizinischen Risikostratifizierung. In der ersten Dimension (x-Achse) wird die zunehmende Schwere eines medizinischen Ereignisses unter drei verschiedenen Aspekten dargestellt. In der zweiten Dimension (y-Achse) wird die zu erwartende Häufigkeit eines Ereignisses aufgetragen. Unterschiedliche Funktionen von Besatzungsangehörigen mit unterschiedlicher Relevanz für Flugsicherheit und Einsatzdurchführung stellen die dritte Dimension dar. Die Festlegung des jeweiligen Risikos erfolgt durch den/die Flugmediziner*in, die jeweilige Akzeptanz eines Risikos wird durch die lizensierende Behörde oder den/die Arbeitgeber*in festgelegt. Rot: Untauglich zur Ausübung der jeweiligen Lizenz. Gelb: Tauglich nach eingehender Beratung und ggf. mit Einschränkungen. Grün: Tauglich zur Ausübung der jeweiligen Lizenz (*übersetzt aus* [18]).

In dieser Risikomatrix müssen der Schweregrad und die Häufigkeit eines medizinischen Ereignisses durch den/die verantwortliche(n) Flugmediziner*in (AME) festgelegt werden. Dazu muss in der Regel auf wissenschaftliche Evidenz, Risikomodelle für bestimmte Erkrankungen etc. zurückgegriffen werden. Diese Festlegung muss gewissenhaft für jeden Einzelfall erfolgen. Dagegen ist es die Aufgabe der lizensierenden Behörde oder auch des/der

Arbeitgeber*in festzulegen, welches Risiko für bestimmte Tätigkeiten akzeptiert werden kann. Dies kann durch eine Farbkodierung wiedergegeben werden (Abbildung 3). Grün heißt hier tauglich zur Ausübung der jeweiligen Lizenz, rot heißt untauglich, gelb heißt tauglich nach eingehenden Beratungen eines Gremiums und ggf. mit Einschränkungen.

1.4.3. Andere Modelle zur Risikostratifizierung

Ein älteres Risikomodell, das bereits 2000 publiziert wurde und auch für die Flugmedizin angewendet werden kann, ist das sogenannte Swiss Cheese Model („Schweizer-Käse-Modell“) (Abbildung 4) [22]. Es veranschaulicht, wie ein Zwischenfall oder Unfall dadurch entstehen kann, dass alle etablierten Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen eine Katastrophe nicht verhindern können, wenn sie alle an einem bestimmten Punkt durchbrochen werden. Es wird ursprünglich ein auf das Individuum fokussierter Ansatz von einem auf die jeweilige Institution fokussierten Ansatz unterschieden. Der auf die Person fokussierte Ansatz zielt darauf ab, das Fehlverhalten eines Individuums bedingt durch Nachlässigkeit, Unaufmerksamkeit, schlechte Motivation, Fahrlässigkeit, Rücksichtslosigkeit etc. aufzudecken und durch Nachschulung, Ermahnung oder Sanktionierungen abzustellen. Der auf die Institution fokussierte Ansatz konzentriert sich auf die Arbeitsbedingungen und versucht sie so zu verbessern und abzuändern, dass Fehler vermieden werden. Dieses Modell kann nicht nur auf die Flugmedizin übertragen werden, sondern es wird häufig auch für die Erklärung und Vermeidung von Fehlern in der Medizin allgemein herangezogen [23].

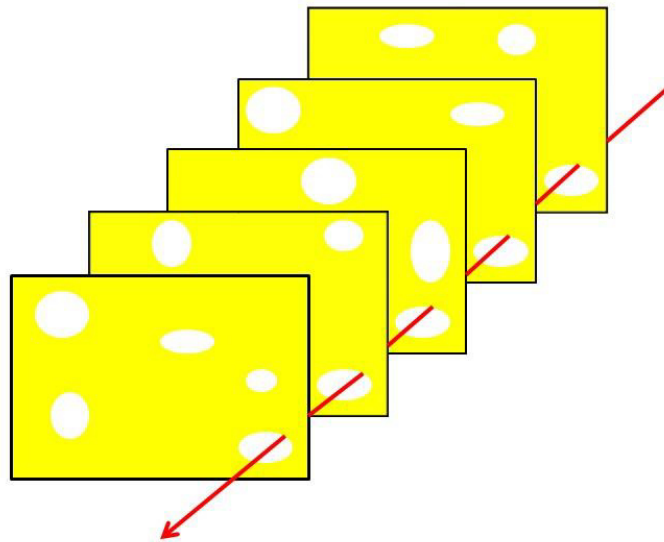


Abbildung 4: Das Schweizer-Käse-Modell (Swiss Cheese Model) nach Reason [22]. Das Modell stellt graphisch dar, wie verschiedene Abwehr-, Sicherheitsmaßnahmen und Barrieren durchdrungen werden können, so dass es zu einem Unfall oder Zwischenfall kommen kann.

Derzeit wird von verschiedenen Expertengruppen an weiteren Modellen zur kardiovaskulären Risikostratifizierung in der Flugmedizin gearbeitet.

1.5. Weitere Aspekte bei der kardiovaskulären Risikostratifizierung in Hochrisikoberufen

Eine kardiovaskuläre Risikostratifizierung ist nicht nur in der Flugmedizin, sondern auch in anderen Hochrisikoberufen erforderlich. Während die 1%-Regel speziell für die Flugmedizin entwickelt wurde, sind die anderen Modelle zur Risikostratifizierung auch für andere Hochrisikoberufe anwendbar. Dies gilt zum Beispiel für Risikomatrizes. Allerdings ist die Aussagekraft solcher Matrizes immer nur so gut, wie die Informationen zur Risikoeinschätzung, mit denen sie bestückt werden. Dabei muss also zum Beispiel auf kardiovaskuläre Risikoscores wie Framingham, PROCAM, SCORE, SCORE2, QRISK3 etc. zurückgegriffen werden. Bei diesen Scores werden Risiken häufig als statistische 10-Jahres-

Risiken für kardiovaskuläre Ereignisse angegeben. Dabei unterliegt man der Versuchung, ein Einjahresrisiko zu ermitteln, indem man diesen Wert durch zehn dividiert. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass das Risiko nicht gleichmäßig über einen Zehnjahreszeitraum verteilt ist [24]. Das Risiko steigt vielmehr innerhalb des Zehnjahreszeitraumes an. Wenn also bei einem 64-jährigen Piloten, der bis zum Alter von 65 Jahren fliegen möchte, ein 10-Jahres-Risiko für ein kardiovaskuläres Ereignis von 11% ermittelt wird, wäre er nach der 1%-Regel bei einfacher Division durch zehn mit einem jährlichen Risiko von 1,1% untauglich. In Wahrheit ist das Risiko am Anfang des Zehnjahreszeitraumes aber deutlich geringer als am Ende, so dass der Pilot bei Berücksichtigung dieser Tatsache tauglich wäre. Tatsächlich ist sogar eine Abnahme der Flugsicherheit möglich, wenn sehr erfahrene Piloten oder Pilotinnen ungerechtfertigt als untauglich beurteilt werden [24]. Außerdem muss bei Risikoscores beachtet werden, dass sie jeweils für eine bestimmte Population evaluiert wurden, für die sie dann auch angewendet werden sollten. Es handelt sich um statistische Risikoabschätzungen, die jeweils mit Konfidenzintervall angegeben werden müssen. Für Individuen im unteren Bereich des Konfidenzintervalls ergibt sich somit ein wesentlich geringeres Risiko als für solche im oberen Bereich. Nach mehreren Mortalitätsstatistiken ist die kardiovaskuläre Mortalität außerdem bei Piloten und Pilotinnen geringer als in anderen Berufsgruppen, so dass auch berufsspezifische Unterschiede berücksichtigt werden müssen [25].

Hohe prognostische Aussagekraft hinsichtlich der Gesamtmortalität [26] und bei bekannter koronarer Herzerkrankung [27] hat die maximale Belastungskapazität in der Ergometrie, die aber heute wegen der Fortschritte bei funktionellen bildgebenden Verfahren weniger häufig eingesetzt wird.

Insgesamt ist es für eine kardiovaskuläre Risikostratifizierung entscheidend, die Aussagekraft der verschiedenen Verfahren und ihre Stärken und Schwächen zu kennen und zu berücksichtigen.

1.6. Zielsetzung der Arbeit

Die wissenschaftliche Literatur für den Bereich der klinischen Flugmedizin ist begrenzt. Deshalb gibt es nur wenig wissenschaftliche Evidenz für das kardiovaskuläre Screening des fliegenden Personals und die prognostische Bedeutung auffälliger Befunde unter den besonderen physischen Belastungen der Fliegerei. In der flugmedizinischen Begutachtung werden Probanden und Probandinnen aller Altersgruppen untersucht, darunter auch sehr viele junge Leute. Da der Altersdurchschnitt der eingeschlossenen Personen in den meisten klinischen Studien wesentlich höher ist, können die Ergebnisse solcher Studien nicht ohne weiteres auf die flugmedizinischen Kollektive übertragen werden. Am ehesten sind noch Screening-Daten junger Athleten und Athletinnen verfügbar. Aber auch diese sind nicht ohne weiteres auf die Flugmedizin übertragbar, weil das fliegende Personal zwar in der Mehrzahl gesund und körperlich leistungsfähig ist, der Trainingszustand aber dennoch nicht mit dem von Leistungssportlern und -sportlerinnen vergleichbar ist. Die flugmedizinischen Regularien sind deshalb nicht immer evidenzbasiert und werden nur in relativ großen zeitlichen Abständen aktualisiert.

In dieser Arbeit soll deshalb durch eigene Untersuchungen die wissenschaftliche Evidenz in der Flugmedizin als Grundlage für Tauglichkeitsentscheidungen vergrößert werden.

Ein Ziel dieser Arbeit ist es, aus dem eigenen Probandenkollektiv des Zentrums für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe Ergebnisse von Screening-Verfahren wie des Ruhe- und Belastungs-EKGs zu analysieren, um Rückschlüsse auf die Sinnhaftigkeit und die sinnvolle Frequenz dieser Verfahren zu ziehen. Das kardiovaskuläre Risikoprofil der eigenen Probanden und Probandinnen wurde analysiert, in ihrer zeitlichen Entwicklung untersucht und mit der Allgemeinbevölkerung verglichen.

Neben Risikokonstellationen und Erkrankungen müssen auch Therapieverfahren, die sich in den letzten Jahrzehnten immens weiterentwickelt haben, auf ihre Auswirkungen auf die Flugtauglichkeit untersucht werden. Dies wurde hier exemplarisch an fliegendem Personal aus

dem eigenen Bereich durchgeführt, das sich wegen tachykarder Herzrhythmusstörungen einer Katheterablation unterziehen musste.

Aber nicht nur ärztlich verordnete Therapeutika, sondern auch durch das fliegende Personal selbst eingenommene Nahrungsergänzungsmittel können sich auf die Flugtauglichkeit auswirken und gesundheitliche Risiken bergen. Deshalb wurde eine Befragung von Piloten und Pilotinnen zur Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln initiiert.

Wegen der aktuellen Pandemie mit SARS-CoV-2 wurden Piloten und Pilotinnen vor Wiederaufnahme des Flugdienstes untersucht, um hieraus Rückschlüsse auf eine zweckmäßige Vorgehensweise in diesen Fällen zu ziehen.

Piloten und Pilotinnen sowie andere Besatzungsangehörige von Flugzeugen sind Beispiele für eine Anzahl weiterer Hochrisikoberufe, die alle regelmäßig medizinisch untersucht werden müssen. Die für das fliegende Personal erarbeiteten Vorgehensweisen lassen sich deshalb auch zu einem großen Teil auf andere Berufe anwenden, wobei der Untersuchungsablauf und die Risikotoleranz bei auffälligen Befunden an die jeweiligen beruflichen Erfordernisse angepasst werden müssen.

2. Eigene Publikationen

2.1. Auffällige elektrokardiographische Befunde beim Screening von militärischem fliegendem Personal in Deutschland

Eine Analyse auffälliger Ruhe-EKG-Befunde beim Screening von militärischem fliegendem Personal in Deutschland wurde in **Guettler N, Sammito S. Electrocardiographic abnormalities in medically screened German military aircrew. *J Occup Med Toxicol* 2021; 16:37 [28]** publiziert.

Für fliegendes Personal und andere Hochrisikoberufe wird sowohl bei der Erstuntersuchung als auch bei den regelmäßigen Nachuntersuchungen häufig ein Ruhe-EKG durchgeführt. Das 12-Kanal-Ruhe-EKG ist eine gut tolerierte, leicht durchzuführende und kostengünstige Methode. Nach vielen zivilen Vorschriften ist das Ruhe-EKG die einzige apparative kardiologische Untersuchung, die ohne klinische Indikation durchgeführt wird. Die Abstände sind jedoch unterschiedlich. Der Fokus des Ruhe-EKGs unterscheidet sich je nach Altersgruppe. Während bei jüngeren Probanden und Probandinnen eher Hinweise auf erblich bedingte Ionenkanalerkrankungen, Delta-Wellen oder Zeichen für Kardiomyopathien im Vordergrund stehen, werden die EKGs älterer Personen eher auf Hinweise für eine koronare Herzkrankheit (KHK) oder eine linksventrikuläre Hypertrophie geprüft. Es gibt allerdings in der Literatur Hinweise, dass der prozentuale Anteil auffälliger Ergebnisse insbesondere bei jungen Probanden und Probandinnen sehr gering ist und dass viele dieser Auffälligkeiten eher als Normvarianten, z. B. bedingt durch einen erhöhten Vagustonus bei jungen Leuten verursacht sind und deshalb gutachterlich keine Konsequenzen haben sollten [29-31]. Eine Überinterpretation solcher Befunde könnte eine zeitraubende, kostspielige und ergebnislose Diagnostik nach sich ziehen und den Probanden oder die Probandin verunsichern oder stigmatisieren.

Deshalb wurde der Anteil an pathologischen Screening-EKG-Befunden bei asymptomatischen Erstbewerbern und Erstbewerberinnen für den fliegerischen Dienst der Bundeswehr und von

erfahrenen Soldaten und Soldatinnen im fliegerischen Dienst der Bundeswehr, die routinemäßige Nachuntersuchungen erhalten haben, retrospektiv analysiert [28]. Die Untersuchungen wurden am Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe in Fürstenfeldbruck durchgeführt. Es wurden EKG-Befunde von 8.275 Erstbewerbern und Erstbewerberinnen (Piloten, Pilotinnen und andere Besatzungsmitglieder) im Zeitraum von 2007 bis 2020 ausgewertet, zusätzlich wurde eine Längsschnittuntersuchung von 4.839 aktiven Piloten, Pilotinnen und anderen Besatzungsmitgliedern ebenfalls im Zeitraum von 2007 bis 2020 durchgeführt. Bei beiden Kollektiven handelt es sich nicht um denselben Personenkreis, weil nicht alle Erstbewerber und Erstbewerberinnen auch für den fliegerischen Dienst in der Bundeswehr zugelassen werden, weil bei lizenzierten Besatzungsmitgliedern in der Regel nur die Erstuntersuchung am Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin und die Nachuntersuchungen im Heimatverband durchgeführt werden und weil viele Probanden und Probandinnen, deren Nachuntersuchungen in die Längsschnittanalyse eingeschlossen wurden, ihre Erstuntersuchung bereits vor 2007 durchlaufen hatten und so von dem ab 2007 verwendeten Institutsinformationssystem nicht erfasst wurden. Die jährlichen Nachuntersuchungen für Piloten und Pilotinnen werden bis zum Alter von 40 Jahren alle drei Jahre am Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe durchgeführt, in den Jahren dazwischen vom zuständigen Fliegerarzt bzw. der zuständigen Fliegerärztin im Verband. Im Alter über 40 Jahren erfolgen die Untersuchungen jedes Jahr am Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe.

Von den 8.275 Erstbewerbern und Erstbewerberinnen waren 6.284 Bewerber*innen für den Dienst als Piloten und 1.991 für den Dienst als sonstige Besatzungsmitglieder. In der Längsschnittanalyse wurden insgesamt 25.829 EKGs von 4.839 Probanden und Probandinnen analysiert, 4.216 davon waren Piloten und Pilotinnen, 623 andere Besatzungsmitglieder. Die Aufzeichnung erfolgte mit einem custo card m™ EKG-Gerät (custo med GmbH, Ottobrunn, Deutschland). Die Zeiten im EKG wurden bei diesem Gerät automatisch gemessen, die Gesamtinterpretation musste jedoch durch einen Arzt oder eine

Ärztin erfolgen. Außerdem wurden Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht und Body Mass Index (BMI) in die Analyse einbezogen. Die Befunde wurden retrospektiv auf der Grundlage der 2019 publizierten Konsensusempfehlungen der NATO HFM-RTG-251 „Occupational Cardiology in Military Aircrew Working Group“ [32] in drei Kategorien eingeteilt: Befunde, die als Normvarianten gelten konnten, Befunde, die eine weitere Diagnostik erforderten und Befunde, die ausschließlich für den Flugdienst waren. Die Untersuchungen, die die EKG-Befunde nach sich zogen und deren Ergebnisse wurden ebenfalls analysiert.

Die statistische Analyse wurde mit IBM SPSS Statistics für Windows 24 (IBM Corp. Released 2016, Armonk, NY, USA) durchgeführt und war primär deskriptiv. Weil der Kolmogorov-Smirnov-Test zeigte, dass die skalierten Parameter nicht normalverteilt waren, wurden Median und Interquartile Range (IQR) angegeben. Unterschiede wurde mit dem Chi-Quadrat-Test nach Pearson analysiert, bei unabhängigen Stichproben nach dem Mann-Whitney-U-Test. Die statistische Signifikanz wurde als $p < 0,05$ definiert.

In Tabelle 2 sind die EKG-Befunde der Erstbewerber*innen aufgelistet, wobei einzelne Bewerber*innen mehrere Auffälligkeiten aufwiesen. Von den 6.284 Bewerbern und Bewerberinnen für die Pilotenlaufbahn hatten 1.947 völlig normale EKGs (Abbildung 5). Bei 4.337 Bewerbern wurde eine Auffälligkeit gefunden, aber nur 13 dieser EKG-Befunde (0,21%) erforderte weitere Untersuchungen. Eins dieser 13 EKGs zeigte eine ventrikuläre Präexzitation (Delta-Welle) als Hinweis auf eine antegrad leitende akzessorische Leitungsbahn. Nach den Vorschriften der Bundeswehr für den fliegerischen Dienst erforderte dieser Befund eine invasive elektrophysiologische Untersuchung zur weiteren Risikostratifizierung, so dass der Bewerber primär als untauglich beurteilt werden musste. Bei den anderen zwölf Bewerbern und Bewerberinnen ergab die weitere Diagnostik keine pathologischen Befunde. Von den 1.991 EKGs der Bewerber und Bewerberinnen als Nicht-Piloten waren 1.134 normal, 857 zeigten Auffälligkeiten, aber nur 5 dieser EKGs machten weitere Untersuchungen erforderlich, die alle unauffällig waren (Abbildung 6).

Tabelle 2: EKG-Befunde von Erstbewerbern und Erstbewerberinnen für die Laufbahnen als Piloten und Pilotinnen und anderer Besatzungsmitglieder. Die Gesamtzahl der Befunde übersteigt die der Bewerber*innen, weil ein(e) Bewerber*in mehrere Befunde aufweisen konnte. Die prozentualen Anteile wurden im Verhältnis zu der Zahl der Bewerber*innen berechnet. VES = ventrikuläre Extrasystole; SVES = supraventrikuläre Extrasystole; AV = atrioventrikulär; RSB = Rechtsschenkelblock; HF = Herzschlagfrequenz; min = Minute; EKG = Elektrokardiogramm; n = Anzahl. * = Bewerber*innen für den fliegerischen Dienst erhalten routinemäßig eine Echokardiographie. Keine davon zeigte eine linksventrikuläre Hypertrophie (übersetzt aus [28]).

Auffällige Befunde	Piloten / Pilotinnen		Andere Besatzungsmitglieder		Weitere Untersuchungen erforderlich
	n	%	n	%	
1 VES oder SVES	117	1,86	18	0,90	Nein
AV-Block 1. Grades (PQ <300 ms)	2	0,03	-	-	Nein
Benigne frühe Repolarisation	3	0,05	-	-	Nein
Kompletter RSB	-	-	1	0,05	Ja
Diskrete Veränderungen der ST-Strecke oder T-Welle ¹	2491	39,64	303	15,22	Nein
Ektoper atrialer Rhythmus	2	0,03	-	-	Nein
Inkompletter RSB	10	0,16	1	0,05	Nein
Intermittierender junctionaler Rhythmus	1	0,02	-	-	Nein
Linksanteriorer Hemiblock (Alter <40 Jahre)	2	0,03	1	0,05	Nein
Verdacht auf Delta-Welle	-	-	1	0,05	Ja
Negative T-Welle in III	5	0,08	4	0,20	Nein
Positiver Sokolow-Lyon-Index*	9	0,14	2	0,10	Nein
Sinusbradykardie (HF <40/min)	7	0,10	3	0,15	Ja
Sinusbradykardie (HF ≥40 bis <60/min)	1551	24,68	492	24,71	Nein
Sinustachykardie (HF >100/min, in Ruhe nicht persistierend)	123	1,96	31	1,56	Nein
Diffuse ST- / T-Veränderungen	1	0,02	-	-	Ja
Leicht verbreiteter QRS-Komplex (133 ms)	1	0,02	-	-	Nein
Auffällige ST-Strecke und T-Welle in II, III, aVF	3	0,05	-	-	Ja
Ventrikuläre Präexzitation (Delta-Welle)	1	0,02	-	-	Ja
Normales EKG	1959	31,17	1136	57,06	Nein
Gesamtzahl der Bewerber*innen	6284	100	1991	100	

¹ Leichte ST-Senkungen von <0.5 mm Tiefe, flache T-Wellen oder leichte T-Negativierungen von <1 mm Tiefe.

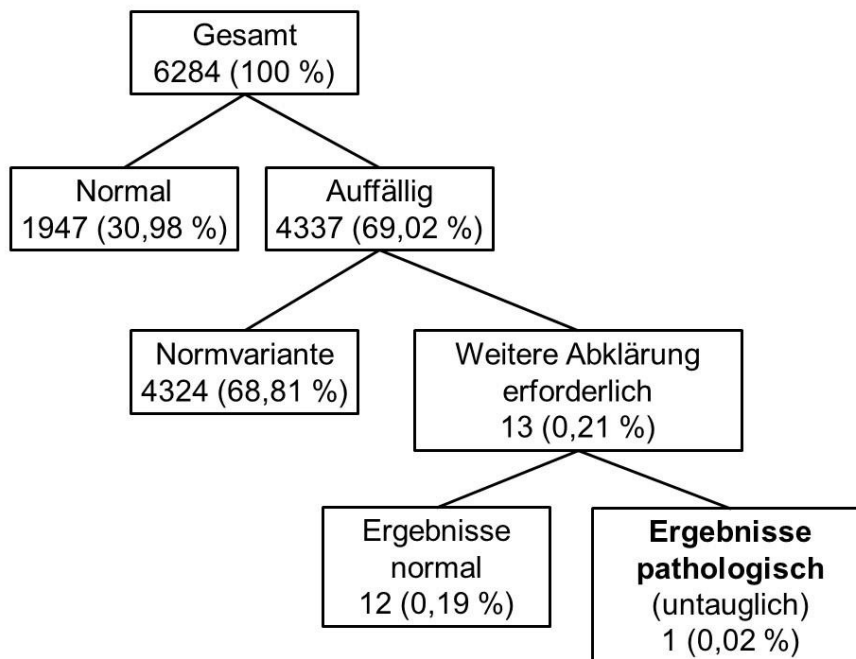


Abbildung 5: Klassifikation der EKG-Befunde der Bewerber*innen für die Piloten-Laufbahn (übersetzt aus [28]).

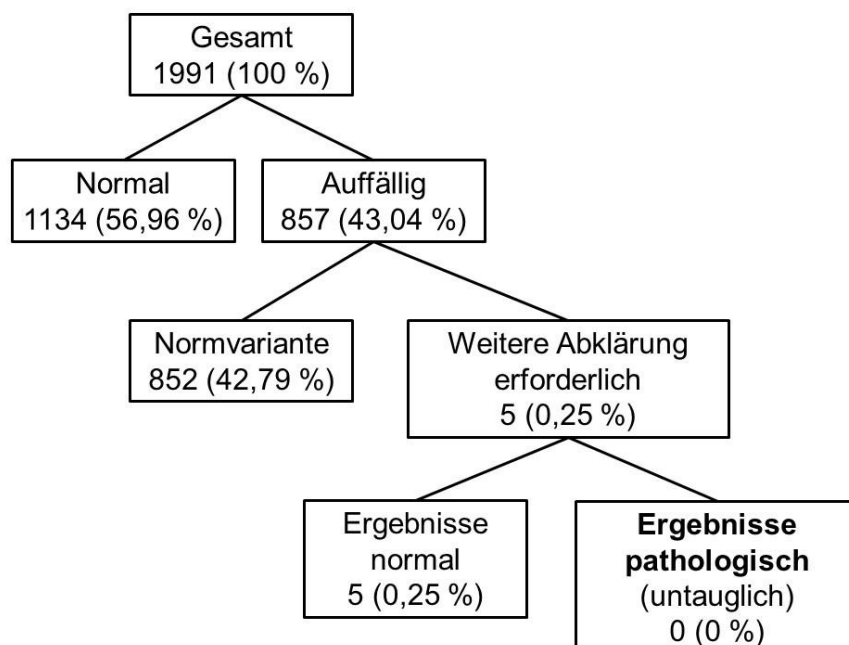


Abbildung 6: Klassifikation der EKG-Befunde der Bewerber*innen für die Laufbahn anderer Besatzungsmitglieder (übersetzt aus [28]).

Bei Bewerbern und Bewerberinnen mit EKG-Auffälligkeiten, die weitere Untersuchungen erforderten, wurden in jedem Fall eine Ergometrie, eine Echokardiographie in 14 Fällen und ein Langzeit-EKG in zwei Fällen durchgeführt. Bei einem Bewerber als Nicht-Pilot wurde zunächst eine Delta-Welle vermutet, eine antegrad leitende akzessorische Leitungsbahn wurde dann jedoch mittels Adenosin-Test ausgeschlossen.

Für die Längsschnittanalyse wurden insgesamt 25.829 EKGs von 4.839 Piloten, Pilotinnen und anderen Besatzungsmitgliedern (Alter des ersten EKGs im Median 30,1 Jahre (IQR 18,8 Jahre), Median des Follow-up-Zeitraums 6,7 Jahre (1 bis 13,4 Jahre) analysiert. Nur bei 28 Probanden und Probandinnen (0,6%) wurde eine Veränderung von einem normalen in ein auffälliges EKG registriert, die eine weitere Diagnostik erforderte (Tabelle 3). Das Alter der Probanden und Probandinnen bei Auftreten der auffälligen Befunde lag im Median bei 44,4 Jahren (IQR 16,0 Jahre). Nur zwei pathologische Befunde führten zur Untauglichkeit, eine einzelne Episode einer Tachyarrhythmia absoluta im Alter von 48,8 Jahren und ein R-Verlust in den Brustwandableitungen, der durch einen Myokardinfarkt bedingt war und im Alter von 59,1 Jahren registriert wurde. Dieser Myokardinfarkt war vorher nicht bekannt und wurde erst durch weitere Untersuchungen, u. a. ein Kardio-CT, diagnostiziert, die durch den EKG-Befund veranlasst wurden. Während der erste dieser beiden Probanden wieder einen uneingeschränkten Flugdienst aufnehmen konnte, weil die Tachyarrhythmie durch einen Infekt bedingt war, war der zweite Proband für den Rest seiner Karriere fluguntauglich. Ein kompletter Rechtsschenkelblock bei einem anderen Probanden war seit langer Zeit bekannt, eine KHK war bereits ausgeschlossen worden. Er hatte einen leichten medikamentös behandelten Bluthochdruck und wurde regelmäßig mittels Echokardiographie und Belastungs-EKG kontrolliert.

Tabelle 3: Auffällige EKG-Befunde bei Piloten, Pilotinnen und anderen Besatzungsmitgliedern. HF = Herzfrequenz; min = Minute; n = Anzahl. *Der Myokardinfarkt war bereits durch die Anamnese bekannt. Der Proband wurde unabhängig vom EKG-Befund als untauglich beurteilt (übersetzt aus [28]).

Auffälliger EKG-Befund	N	Untauglich wegen des EKG-Befundes
Intermittierende ventrikuläre Präexzitation, bereits anamnestisch bekannt	1	Nein
Einzelne Episode einer Tachyarrhythmia absoluta	1	Ja
Positiver Sokolow-Lyon-Index	2	Nein
Ersatzschläge mit Linksschenkelblock-Morphologie (eine einzige Episode)	1	Nein
Vorausgehender Myokardinfarkt	1	Nein*
Kompletter Rechtsschenkelblock (kein Progress eines inkompletten Rechtsschenkelblocks)	1	Nein
R-Verlust in den Brustwandableitungen	1	Ja
Sinusbradykardie (< 40/min)	17	Nein
T-Negativierungen	3	Nein
Gesamt	28	

Schlussfolgerung:

Im Zeitraum von 2007 bis 2020 wurden 8.275 EKGs von Erstbewerbern und Erstbewerberinnen für den fliegerischen Dienst und 25.829 EKGs von 4.839 aktiven Besatzungsmitgliedern, die im Rahmen routinemäßiger Tauglichkeitsuntersuchungen registriert wurden, retrospektiv analysiert. Dabei zeigte sich eine extrem geringe Anzahl pathologischer EKGs bei den Erstbewerbern und Erstbewerberinnen, die eine weitere Diagnostik erfordert oder sogar zur Untauglichkeit geführt hätte. Auch bei den Nachuntersuchungen aktiver Besatzungsmitglieder war die Anzahl der EKGs, die eine weitere Abklärung erforderten oder sogar zur Untauglichkeit führten, äußerst gering. Diese EKG-Befunde traten in höherem Alter auf. Screening-EKGs bei Erstbewerbern und Erstbewerberinnen für Hochrisikoberufe mit sehr geringer Risikotoleranz können trotzdem weiterhin als gerechtfertigt gelten, zumal andere Studien einen etwas höheren Anteil pathologischer Befunde ergaben. Nachuntersuchungen sollten in festgelegten Zeitintervallen

vor allem bei älteren Probanden und Probandinnen stattfinden. Dagegen werden Screening-EKGs in kurzen Zeitintervallen, z. B. jährlich bei jungen Probanden und Probandinnen, durch die hier ermittelten Daten nicht unterstützt.

2.2. Die Rolle des Belastungs-EKGs beim Screening von militärischem fliegendem Personal der Bundeswehr

Die Rolle des Belastungs-EKGs beim Screening von militärischem fliegendem Personal der Bundeswehr wurde in **Guettler N, Nicol E, Sammito S. Exercise ECG for Screening in military aircrew. *Aerosp Med Hum Perform* 2022; 93(9):666-672 [33]** analysiert.

Das Belastungs-EKG bzw. die Ergometrie ist eine weitere häufig angewendete Untersuchungsmethode in der Flug- und Arbeitsmedizin. Sie dient der Untersuchung der Leistungsfähigkeit, der kardiovaskulären Fitness sowie vor allem bei älteren Probanden und Probandinnen auch zur Diagnostik einer in Ruhe asymptomatischen KHK. In der Flugmedizin wird jedoch häufig über den Nutzen des Belastungs-EKGs zum Screening und über sinnvolle Zeitabstände diskutiert.

In einem Update der Leitlinie des American College of Cardiology und der American Heart Association zum Belastungs-EKG von 2002 wird es bei Männern über 45 Jahren und bei Frauen über 55 Jahren empfohlen, die in Berufen arbeiten, in denen eine Gesundheitsstörung die öffentliche Sicherheit gefährden kann (Klasse IIb-Indikation) [34]. Diese Indikation wird auch in einem Manual der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie gesehen, wobei jedoch keine Altersgrenzen angegeben werden (Klasse IIa-Indikation) [35]. In der Flug- und Arbeitsmedizin wird das Belastungs-EKG unterschiedlich genutzt. In manchen Berufen, wie etwa Feuerwehrleute mit schwerem Atemschutz, wird es als Screening-Maßnahme eingesetzt, von anderen Arbeitgebern oder Behörden eher indikationsbezogen, so auch überwiegend in der zivilen Flugmedizin [12, 14, 16]. Das fliegende Personal der Bundeswehr absolviert sowohl

bei der Erstuntersuchung als auch bei den regelmäßigen Nachuntersuchungen ein Belastungs-EKG als Screening-Untersuchung.

Erstbewerber für den Dienst als Pilot*in und für den Dienst als lizenzierte Luftfahrzeugbesatzungsangehörige werden im Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe untersucht. Bei Piloten und Pilotinnen über 40 Jahren erfolgt dort auch die jährliche Nachuntersuchung, Piloten und Pilotinnen bis 40 Jahre werden dort alle drei Jahre nachuntersucht, in den beiden dazwischenliegenden Jahren erfolgt die Untersuchung im örtlichen Fliegerarztbereich. Am Zentrum wird ein Fahrradergometriesystem vom Typ customed ec5000mobil von Promedia Medizintechnik A. Ahnfeldt GmbH, Siegen, verwendet sowie ein halbliegendes Fahrradergometer vom Typ ergoselect 1000, Ergoline GmbH, Bitz, in einem Winkel von 45°. In einem standardisierten Protokoll wird bei Männern mit 100 W begonnen und alle drei Minuten um 50 W bis zu einer Ausbelastungsherzschlagfrequenz von 220/min minus Lebensalter gesteigert [36]. Bei Frauen wird mit 75 W begonnen und alle zwei Minuten um 25 W gesteigert, wobei Anpassungen an das Gewicht und die Leistungsfähigkeit jeweils möglich sind. Ein 12-Kanal-EKG wird ständig mitgeschrieben sowie auf jeder Belastungsstufe ausgedruckt. Herzschlagfrequenz und ST-Streckenänderungen werden ständig registriert und ebenfalls auf jeder Belastungsstufe ausgedruckt. Außerdem wird auf jeder Stufe der Blutdruck nach Riva-Rocci gemessen. Die maximale Physical Working Capacity (PWC_{max}) wird aus dem Quotienten aus der maximalen Leistung in Watt und dem Körpergewicht in kg errechnet.

In unserer Untersuchung wurden 7.646 Belastungs-EKGs von Erstbewerbern und Erstbewerberinnen (5.871 Piloten und Pilotinnen sowie 1.775 andere Besatzungsangehörige) aus einem Zeitraum von Februar 2007 bis Juni 2020 retrospektiv untersucht. In einer Längsschnittuntersuchung wurden zusätzlich 17.131 Belastungs-EKGs von 3.817 aktiven Piloten und Pilotinnen ausgewertet [33]. Auffällige Befunde wurden in Normvarianten, solche mit der Notwendigkeit weiterer Untersuchungen sowie disqualifizierende Befunde für den Flugdienst kategorisiert. Die Kategorisierung der Ruhe-EKGs wurde dabei entsprechend Kapitel 2.1. durchgeführt, die der Belastungs-EKGs nach den aktuellen Leitlinien und der

aktuellen Literatur [37-40]. Obwohl es derzeit hierzu keine einheitliche Definition gibt, wurde ein Belastungshypertonus angenommen, wenn der Blutdruck bei 100 W 200/100 mmHg überstieg (215/105 mmHg im Alter über 50 Jahre) [40]. Eine inadäquate Pulserholungszeit (Impaired Heart Rate Recovery [HRR]) wurde angenommen, wenn die Differenz zwischen erreichter maximaler Herzschlagfrequenz unter Belastung und der Herzschlagfrequenz nach einer Minute Erholung weniger als 12 Schläge pro Minute betrug [41-44].

Die statistische Analyse wurde mit IBM SPSS Statistics für Windows 24 (IBM Corp. Released 2016, Armonk, NY, USA) durchgeführt. Sie war primär deskriptiv. Nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test waren alle Parameter nicht normalverteilt, so dass Median und IQR angegeben wurde. Unterschiede wurden mit Pearson's Chi-Quadrat-Test bzw. für unabhängige Stichproben mit dem Mann-Whitney U Test analysiert. Statistische Signifikanz wurde bei $p < 0,05$ angenommen.

In Tabelle 4 sind die Belastungs-EKG-Befunde der Erstbewerber*innen für die Laufbahnen der Piloten oder Pilotinnen und anderer Besatzungsangehöriger dargestellt. Die auffälligen Befunde wurden in Normvarianten und Befunde mit der Notwendigkeit einer weiteren Abklärung kategorisiert. Nur einer der Bewerber als Luftfahrzeugbesatzungsangehöriger wurde wegen eines erhöhten Blutdrucks vorübergehend untauglich geschrieben (Abbildung 7 und 8).

Tabelle 4: Belastungs-EKG-Befunde von Erstbewerbern und -bewerberinnen für den Dienst als Pilot*in und andere Besatzungsangehörige. Die Anzahl der Befunde übersteigt leicht die der Bewerber*innen, weil ein Belastungs-EKG mehrere auffällige Befunde zeigen kann. Die Prozentzahlen wurden im Verhältnis zur Anzahl der Bewerber*innen berechnet. n = Anzahl (übersetzt aus [33]).

Befunde	Piloten / Pilotinnen		Andere Besatzungsangehörige		Weitere Diagnostik erforderlich
	n	%	n	%	
Einzelne ventrikuläre Extrasystole	2	0,03	3	0,17	nein
Einzelne atriale Extrasystole	1	0,02	3	0,17	nein
Einzelnes ventrikuläres Couplet	1	0,02	1	0,06	nein
Nicht signifikante ST-/T-Veränderungen	3	0,05	2	0,11	nein
Negative T-Welle in III	1	0,02	0	0	nein
Ventrikuläre Präexzitation	0	0	1	0,06	ja
Präsynkope	0	0	1	0,06	ja
Überschießender Herzfrequenzanstieg	2	0,03	1	0,06	nein
Eingeschränkte Pulserholungszeit	90	1,53	26	1,46	nein
Belastungsinduzierte Hypertonie	14	0,24	19	1,07	ja
Art. Hypertonie, in Ruhe und belastungsinduziert	1	0,02	0	0	ja
Art. Hypertonie mit unbefriedigender medikamentöser Einstellung	0	0	1	0,06	ja ¹
Normales Belastungs-EKG	5759	98,09	1719	96,85	nein
Gesamtzahl der Befunde	5874	100,05	1777	100,11	
Gesamtzahl der Bewerber*innen	5871	100	1775	100	

¹Der/die Bewerber*in wurde als vorübergehend untauglich beurteilt.

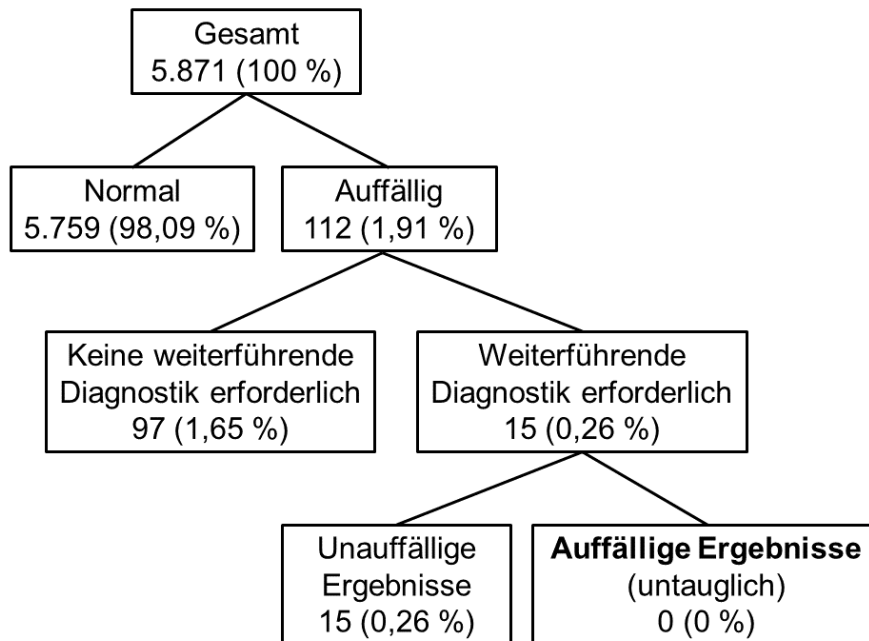


Abbildung 7: Klassifikation der Belastungs-EKG-Befunde der Bewerber*innen für den Dienst als Pilot*innen. Die Prozentzahlen wurden in Relation zu den 5.871 Bewerber*innen berechnet (übersetzt aus [33]).

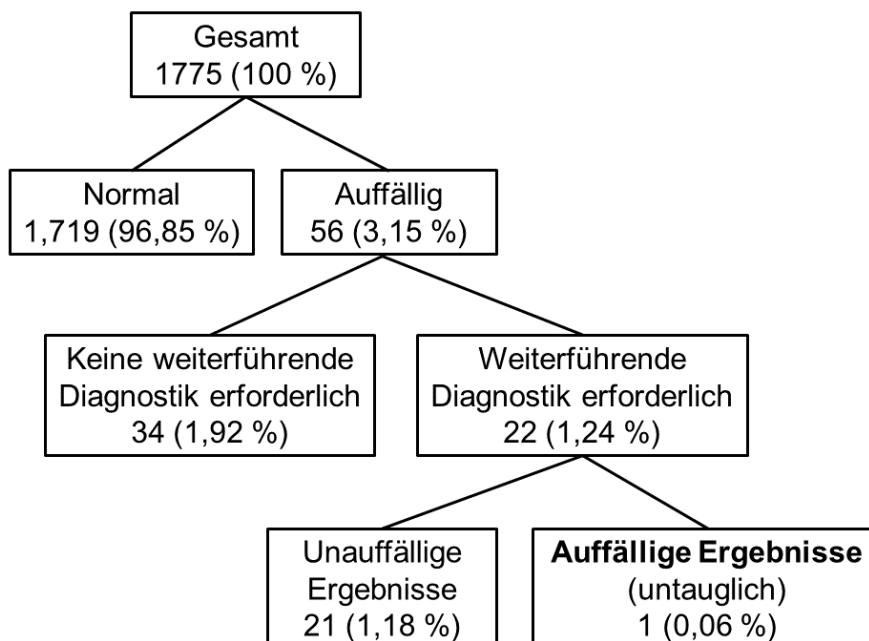


Abbildung 8: Klassifikation der Belastungs-EKG-Befunde der Bewerber*innen für den Dienst als sonstige Besatzungsangehörige. Die Prozentzahlen wurden in Relation zu den 1.775 Bewerber*innen berechnet (übersetzt aus [33]).

Bei den Erstbewerbern und -bewerberinnen beider Gruppen waren die auffälligen Befunde, die einer weiteren Abklärung bedurften, durch einen erhöhten Blutdruck bedingt. Die Abklärung bestand in einer Langzeit-Blutdruckmessung, die in allen Fällen ein normales Ergebnis zeigte. Dies galt auch für die Fälle aus der Gruppe der anderen Besatzungsangehörigen mit belastungsinduzierter Hypertonie. In einem Fall war eine medikamentös behandelte Hypertonie nicht ausreichend eingestellt, so dass eine temporäre Untauglichkeit resultierte. Ein Proband mit ventrikulärer Präexzitation wurde nicht-invasiv kardiologisch abgeklärt, wurde aber letztlich wegen einer geplanten nicht flugsicherheitsrelevanten Tätigkeit verwendungsfähig geschrieben. Auch der Proband mit der Präsynkope wurde nicht-invasiv abgeklärt. Da die Ergebnisse unauffällig waren und kein weiteres Ereignis vorkam, wurde er letztlich tauglich geschrieben.

In der Längsschnittstudie aktiver Piloten und Pilotinnen wurden 17.131 Belastungs-EKGs von 3.817 Probanden und Probandinnen mit einem medianen Follow-up von 5,1 Jahren (0,0 bis 13,2 Jahre) analysiert. Davon waren 98% normal, 1,5% wurden als Normvariante klassifiziert und 0,5% zogen eine weiterführende Diagnostik nach sich. Letztlich wiesen nur zwei Piloten im Alter von 35,8 und 46,7 Jahren Befunde auf, die sie für die fliegerische Tätigkeit disqualifizierten. Die Befunde der Belastungs-EKGs in der Längsschnittuntersuchung werden in Tabelle 5 dargestellt. Die Kategorisierung der Belastungs-EKG-Befunde der aktiven Piloten und Pilotinnen in der Längsschnittanalyse wird in Abbildung 9 gezeigt.

Tabelle 5: Belastungs-EKG-Befunde der Piloten und Pilotinnen, die in die Längsschnittstudie eingeschlossen wurden. Die Prozentzahlen wurde in Relation zur Gesamtzahl der Belastungs-EKGs berechnet. n = Anzahl; AV = atrioventrikulär (übersetzt aus [33]).

Befunde	Belastungs-EKG		Weiterführende Diagnostik erforderlich
	n	%	
Nicht signifikante ST- / T- Veränderungen	16	0,09	nein
Signifikante ST- / T- Veränderungen	5	0,03	ja ¹
Einzelne ventrikuläre Extrasystole	16	0,09	nein
Einzelne atriale Extrasystole	4	0,02	nein
Einzelnes ventrikuläres Couplet	1	0,01	nein
Häufige ventrikuläre Extrasystolen (>10)	4	0,02	ja
Häufige atriale Extrasystolen (>10)	1	0,01	ja
Inkompletter Rechtsschenkelblock	8	0,05	nein
Kompletter Rechtsschenkelblock	1	0,01	ja
Intermittierender kompletter Rechtsschenkelblock	2	0,01	ja
AV-Block 1. Grades	2	0,01	nein
Belastungsinduzierte art. Hypertonie	61	0,36	ja
Art. Hypertonie in Ruhe und unter Belastung	2	0,01	ja
Grenzwerthypertonie	2	0,01	nein
Diastolische Hypertonie	3	0,02	nein
Art. Hypertonie mit unzureichender medikamentöser Einstellung	3	0,02	ja
Situationsbedingte Hypertonie	1	0,01	nein
Eingeschränkte Pulserholungszeit	224	1,31	nein
Überschießender Herzfrequenzanstieg	5	0,03	nein
Normales Belastungs-EKG	16779	97,9	nein
Gesamtzahl der Befunde	17140	100,05	
Gesamtzahl der Belastungs-EKGs	17131	100	

¹Zwei Piloten mit deutlicher ST-Senkung wurden als untauglich beurteilt, weil die weitere Diagnostik eine obstruktive koronare Herzerkrankung ergab.

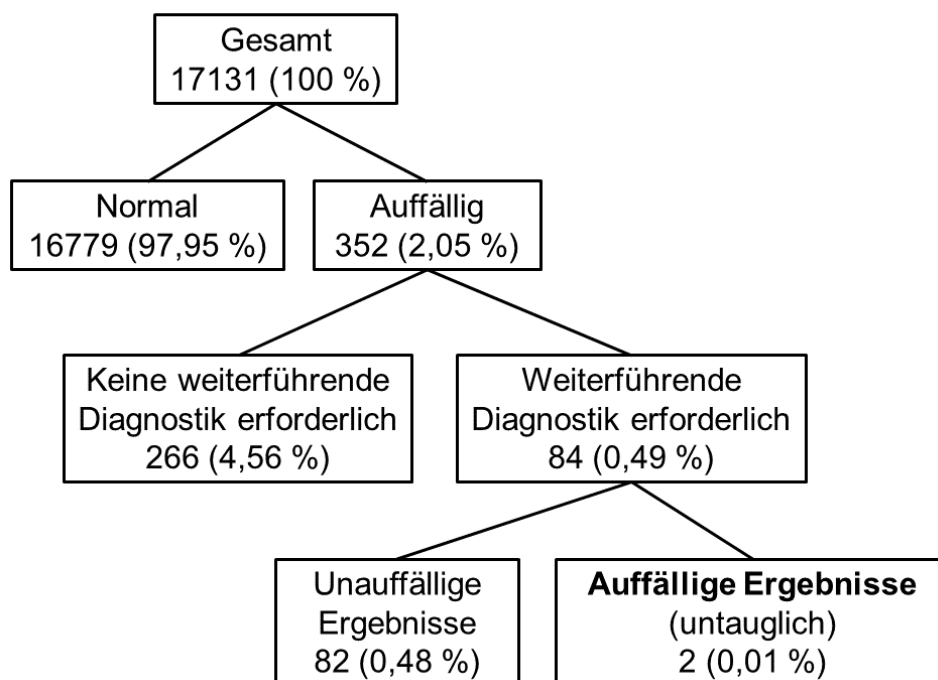


Abbildung 9: Klassifikation der Belastungs-EKG-Befunde der Piloten und Pilotinnen, die in die Längsschnittanalyse eingeschlossen wurden (übersetzt aus [33]).

Von den 17.131 untersuchten Belastungs-EKGs erforderten nur 84 eine weitergehende Diagnostik, die in den Fällen mit Repolarisationsstörungen aus einem kardialen CT und einer Echokardiographie bestand. Bei Koronarstenosen über 50% wurden zusätzlich eine Ischämiediagnostik und/oder eine invasive Koronarangiographie durchgeführt. Bei Arrhythmien bestand die weiterführende Diagnostik aus einem Langzeit-EKG und einer Echokardiographie, sowie besonders bei Probanden und Probandinnen über 40 Jahren aus einer Untersuchung der Koronararterien. Belastungsinduzierte Hypertonien wurden mittels Langzeit-Blutdruckmessung abgeklärt.

Von den 84 Fällen, in denen eine weiterführende Abklärung erforderlich war, wurden letztlich nur zwei Piloten untauglich geschrieben, beide wegen einer obstruktiven koronaren Herzerkrankung, die aufgrund von Repolarisationsstörungen im Belastungs-EKG diagnostiziert wurde.

Schlussfolgerung:

Es wurden Belastungs-EKGs von Erstbewerbern und -bewerberinnen für den Dienst als Piloten und Pilotinnen sowie als sonstige Luftfahrzeugbesatzungsangehörige analysiert. Zusätzlich wurden Belastungs-EKGs aktiver Piloten und Pilotinnen ausgewertet, die während der jährlichen Nachuntersuchungen auf Wehrfliegerverwendungsfähigkeit durchgeführt wurden. In beiden Gruppen war die Anzahl pathologischer Befunde, die zu einer weiterführenden Diagnostik oder sogar zur Ablösung vom fliegerischen Dienst geführt hätten, außerordentlich gering. Daher stellt sich die Frage, ob bei dieser Untersuchungsart der Nutzen für die flugmedizinische Begutachtung den Zeit- und Kostenaufwand aufwiegt. Für Erstbewerber und -bewerberinnen könnte ein Ruhe-EKG in Verbindung mit Anamnese und körperlicher Untersuchung eine adäquate Alternative darstellen. Zusätzlich würde ein nicht ärztlich durchgeführter sportlicher Leistungstest, z. B. der in der Bundeswehr etablierte Basis Fitness Test, Rückschlüsse auf die kardiale Leistungsfähigkeit erlauben. Für Nachuntersuchungen aktiver Piloten und Pilotinnen könnte ein indikationsbezogenes Belastungs-EKG bei erhöhtem kardiovaskulärem Risiko, auffälligen Befunden oder kardialen Symptomen ausreichen, wie dies bereits bei zivilen Piloten und Pilotinnen nach den Vorschriften der EASA und durch Luftwaffen anderer Nationen durchgeführt wird.

2.3. Kardiovaskuläre Risikoprofile bei deutschen Militärpiloten und -pilotinnen

Eine Analyse der Prävalenz kardiovaskulärer Risikofaktoren deutscher Militärpiloten und -pilotinnen wurde in **Sammito S, Güttler N. Cardiovascular risk profiles in German Air Force pilots. *BMJ Mil Health* 2020 Nov 30;bmjmilitary-2020-001608** publiziert [45].

Die KHK ist für fliegendes Personal und andere Angehörige von Hochrisikoberufen eine tückische Erkrankung, weil sie auch ohne vorausgehende Symptome durch die Ruptur atherosklerotischer Plaques zum akuten Koronarsyndrom mit dem Risiko der plötzlichen

Handlungsunfähigkeit oder sogar zum plötzlichen Herztod führen kann [1, 2]. In der Begutachtung von Angehörigen solcher Berufe, auf die in den letzten beiden Kapiteln eingegangen wurde, ist es deshalb entscheidend, solche Personen zu identifizieren, die ein erhöhtes Risiko einer KHK aufweisen und weiterführend kardiologisch untersucht werden müssen.

Herz- und Gefäßerkrankungen sind die häufigste Todesursache in den Industrienationen [46, 47]. Sie werden durch Verhaltensmerkmale wie Überernährung, Rauchen und physische Inaktivität hervorgerufen, die zu chronischen Erkrankungen wie Diabetes mellitus, arterielle Hypertonie und Hyperlipidämie beitragen können. Eine positive Familienanamnese ist ein weiterer Risikofaktor solcher Erkrankungen. Für den Fliegerarzt oder die Fliegerärztin ist es sehr wichtig, fliegendes Personal mit ungünstigem kardiovaskulärem Risikoprofil zu erkennen und ggf. weiter zu untersuchen. Bisher gab es wenige Daten über das kardiovaskuläre Risikoprofil von Piloten und Pilotinnen. Eine Untersuchung von 14.379 britischen Verkehrspiloten und -pilotinnen ergab, dass der Anteil von Piloten und Pilotinnen mit einer Adipositas und von Rauchern oder Raucherinnen in dieser Kohorte deutlich geringer war als in der Allgemeinbevölkerung [48]. Eine kolumbianische Studie an 614 Zivilpiloten und -pilotinnen zeigte, dass das kardiovaskuläre Risikoprofil bei Privatpiloten und -pilotinnen ungünstiger war als bei Berufspiloten und -pilotinnen [49]. Eine Gruppe von 250 Militärpiloten und -pilotinnen wurde in einer ungarischen Studie untersucht [50]. In der Hälfte der Studienpopulation lag das Risiko für eine kardiovaskuläre Erkrankung unter 2,5%, selbst in der Altersgruppe mit dem höchsten Risiko überstieg es 15% bis 20% nicht. In einer anderen Studie wurde die kardiale Ereignisrate in der United States Air Force zwischen 1988 und 1992 untersucht. Es wurden 38 kardiale Ereignisse bei Piloten und Pilotinnen registriert, die bis dahin ohne Einschränkung geflogen waren, davon sieben Angina pectoris-Episoden, 23 Myokardinfarkte und acht plötzliche Herztode [51]. 2013 wurde durch eine Analyse von Autopsie-Ergebnissen von deutschen Besatzungsmitgliedern, die bei Flugunfällen gestorben waren und klinisch keine Hinweise für eine koronare Herzerkrankung aufwiesen, bei zwei

Dritteln dieses Kollektivs eine leichte, moderate oder schwere koronare Herzerkrankung nachgewiesen [52]. 48% der autopsierten Besatzungsmitglieder hätten nach den damals geltenden zivilen Richtlinien nicht fliegen dürfen, wenn die Veränderungen bekannt gewesen wären.

Ziel der Arbeit war es daher, die Prävalenz von kardiovaskulären Risikofaktoren deutscher Militärpiloten und -pilotinnen aller Teilstreitkräfte (Luftwaffe, Heer, Marine) auf der Basis von Untersuchungsdaten der regelmäßigen Tauglichkeitsuntersuchungen zu analysieren [45].

Dazu wurden zwei Dreijahreszeiträume von 2007 bis 2009 und von 2016 bis 2018 untersucht, alle in den jeweiligen Zeiträumen aktive Militärpiloten und -pilotinnen eingeschlossen, die kardialen Risikofaktoren analysiert und das 10-Jahres-Risiko für ein akutes kardiales Ereignis nach dem PROCAM (Prospective Cardiovascular Münster) Score berechnet [53].

Alle Piloten und Pilotinnen der Bundeswehr werden jährlich auf Flugtauglichkeit untersucht. Bei Piloten und Pilotinnen bis 40 Jahren geschieht dies alle drei Jahre am Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe und in den Jahren dazwischen im zuständigen Fliegerarztbereich. Piloten und Pilotinnen über 40 Jahre werden jährlich am Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe untersucht. Die Untersuchungsintervalle können jeweils aus medizinischen Gründen verkürzt werden. Durch die Auswahl der beiden Dreijahreszeiträume wurde sichergestellt, dass jede(r) in diesem Zeitraum aktive Pilot*in mindestens einmal am Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin untersucht wurde. Falls dort in einem Dreijahreszeitraum bei einem Piloten oder einer Pilotin mehrere Untersuchungen stattfanden, wurde nur die letzte Untersuchung in die Analyse einbezogen. Für jede Untersuchung wurden die Parameter Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht, BMI, Raucherstatus, Ruhe-Blutdruck, Gesamtcholesterin, High Density Lipoprotein (HDL) Cholesterin, Low Density Lipoprotein (LDL) Cholesterin, Triglyceride und Glukose erhoben. Außerdem wurde der Gebrauch von antihypertensiven Medikamenten und die Diagnose Diabetes mellitus registriert. Als positive Familienanamnese wurde ein Herzinfarkt im Alter unter 60 Jahren bei

einem Verwandten ersten Grades angenommen. Außerdem wurde der geflogene Flugzeugtyp (Jet, Flächenflugzeug, Hubschrauber) mit in die Analyse einbezogen. Als Jet werden hier strahlgetriebene Kampfflugzeuge mit Schleudersitz bezeichnet, Flächenflugzeuge können sowohl solche mit Düsen- als auch mit Propeller-Triebwerken sein.

Auf der Grundlage der erhobenen Daten wurde der PROCAM-Score berechnet, der sich aus den acht Parametern Alter, HDL-Cholesterin, LDL-Cholesterin, Triglyceride, Raucherstatus, Diabetes mellitus, positive Familienanamnese für Myokardinfarkte und systolischer Blutdruck zusammensetzt. Die Berechnung wurde einmal mit Berücksichtigung des Alters und einmal altersadjustiert ohne Berücksichtigung des Alters durchgeführt. Insgesamt wurden in den beiden Untersuchungszeiträumen am Zentrum für Luft und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe 5.356 Untersuchungen durchgeführt. Nur drei der Piloten waren Drohnenpiloten, sie wurden von der weiteren Analyse ausgeschlossen, so dass 5.353 Untersuchungen von Piloten und Pilotinnen bemannter Luftfahrzeuge verblieben. In einer separaten Untersuchung wurden die 1.717 Piloten betrachtet, die in beiden Dreijahreszeiträumen untersucht wurden.

Die statistische Analyse wurde mit IBM SPSS Statistics für Windows 24 (IBM Released 2016, Armonk, New York, USA) durchgeführt. Die Analyse der Daten war primär deskriptiv. Da der Kolmogorov-Smirnov-Test zeigte, dass die Parameter nicht normalverteilt waren, wurden Median und IQR angegeben. Unterschiede wurden mit dem Pearson χ^2 -Test analysiert, für unabhängige Stichproben wurden der Mann-Whitney U-Test oder der Kruskal-Wallis-Test benutzt. Das Signifikanzniveau wurde als $p < 0,05$ definiert. Beim multiplen Testen wurde eine Bonferroni-Abschätzung durchgeführt. Ein korrigiertes $p^* < 0,0023$ ($0,05/22$) für die Unterschiede im Beobachtungszeitraum ($n=22$ Faktoren) und $p^* < 0,0055$ ($0,05/9$) für die Unterschiede in den Luftfahrzeugtypen ($n=9$ Faktoren) wurde als statistisch signifikant betrachtet. Abbildung 10 gibt einen Überblick über die in die Studie eingeschlossenen Untersuchungen.

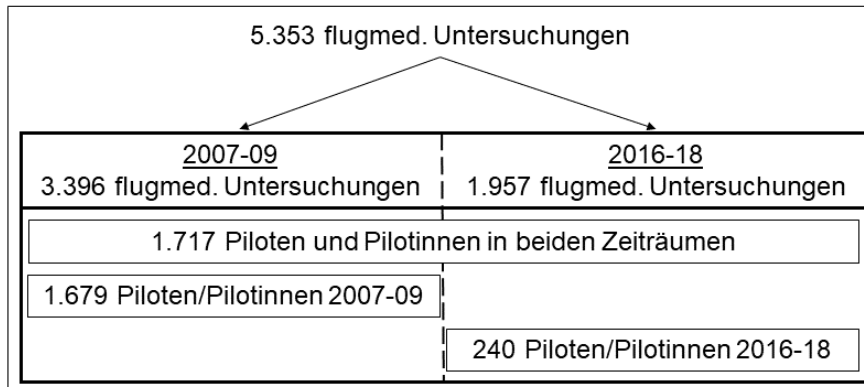


Abbildung 10: Überblick über die in die Studie eingeschlossenen Tauglichkeitsuntersuchungen (übersetzt aus [45]).

Der Vergleich der beiden untersuchten Dreijahreszeiträume zeigte zunächst einen Rückgang aktiver Piloten und Pilotinnen für alle Flugzeugtypen (Jets, Flächenflugzeuge und Hubschrauber). Der größte Rückgang war im Bereich der Hubschrauber von 1.014 auf 503 (50,4%) zu sehen. Die Anzahl der Piloten und Pilotinnen von Flächenflugzeugen sank von 1.651 auf 863 (47,7%), die der Jet-Piloten und -Pilotinnen von 731 auf 591 (19,2%). Die Unterschiede hinsichtlich der kardiovaskulären Risikofaktoren zwischen den beiden Untersuchungszeiträumen werden in Tabelle 6 dargestellt.

Das mittlere Alter stieg signifikant an, ebenso Gesamt-, LDL- und HDL-Cholesterin, Glukose, Triglyceride und der BMI. Der Anteil der Piloten und Pilotinnen mit normalem Körpergewicht sank signifikant, während der der übergewichtigen signifikant anstieg. Der systolische und diastolische Blutdruck änderte sich nicht signifikant, der Anteil der Raucher sank signifikant ab, während der der Ex-Raucher anstieg. Der PROCAM-Score zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit eines akuten koronaren Ereignisses in den nächsten zehn Jahren stieg von 18 auf 23 Punkte signifikant an, vor der Altersadjustierung stieg also das 10-Jahres-Risiko für ein akutes koronares Ereignis von <1% (2007-2009) auf 1,3% (2016-2018) an. Der Anteil der Piloten und Pilotinnen mit einem 10-Jahres-Risiko \geq 5% für ein akutes koronares Ereignis stieg von 7,4% auf 13,9% ($p < 0,001$), der mit einem 10-Jahres-Risiko von $\geq 10\%$ von 2,1% auf

4,9% ($p < 0,001$) an. Nach Altersadjustierung gab es keinen signifikanten Anstieg des PROCAM-Scores mehr, ebenso gab es keine signifikanten Unterschiede mehr in den Gruppen mit einem 10-Jahres-Risiko $\geq 5\%$ und $\geq 10\%$.

Tabelle 6: Kardiovaskuläre Risikofaktoren und PROCAM-Score (nicht altersadjustiert und altersadjustiert) für Piloten in den Untersuchungszeiträumen 2007-2009 und 2016-2018 (übersetzt aus [45]).

	2007-09	2016-18	p*-Wert
N	3396	1957	
Alter [Jahre]	36,7 (16,1)	41,9 (16,3)	<0,001
Geschlecht			0,091
männlich	3356 (98,8%)	1923 (98,3%)	
weiblich	40 (1,2%)	34 (1,7%)	
BMI [kg/m ²]	24,9 (3,5)	25,6 (3,7)	<0,001
BMI-Kategorien			<0,001
Normal (< 25 kg/m ²)	1716 (50,5%)	808 (41,3%)	
Übergewichtig (≥ 25 and < 30 kg/m ²)	1522 (44,8%)	1062 (54,3%)	
Adipös (> 30 kg/m ²)	158 (4,7%)	86 (4,4%)	
Pos. Familienanamnese	398 (11,7%)	208 (10,6%)	0,225
Raucherstatus			<0,001
Raucher	721 (21,2%)	314 (16,0%)	
Ex-Raucher	183(5,4%)	180(9,2%)	
Nie-Raucher	2492 (73,4%)	1463 (74,8%)	
Antihypertensive Medikation	23 (0,7%)	5 (0,3%)	0,039
Diabetes mellitus	5 (0,1%)	4 (0,2%)	0,623
Cholesterin [mg/dl]	191,0 (49,0)	198,0 (47,0)	<0,001
HDL [mg/dl]	52,0 (17,0)	54,0 (17,0)	<0,001
LDL [mg/dl]	124,0 (45,0)	132,0 (44,0)	<0,001
Glukose [mg/dl]	93,0 (10,0)	95,0 (11,0)	<0,001
Triglyceride [mg/dl]	97,0 (63,0)	102,0 (59,8)	<0,001
Systolischer Blutdruck [mm Hg]	120,0 (10,0)	120,0 (15,0)	<0,001
Diastolischer Blutdruck [mm Hg]	80,0 (5,0)	80,0 (8,0)	<0,001
PROCAM-Score	18 (16)	23 (19)	<0,001
CVD Risk $\geq 5\%$ (PROCAM ≥ 38)	252 (7,4%)	272 (13,9%)	<0,001
CVD Risk $\geq 10\%$ (PROCAM ≥ 45)	72(2,1%)	96 (4,9%)	<0,001
PROCAM-Score altersadjustiert	15 (12)	15 (11)	0,270
CVD Risiko $\geq 5\%$ (PROCAM ≥ 38)	23 (0,7%)	15 (0,8%)	0,709
CVD Risiko $\geq 10\%$ (PROCAM ≥ 45)	2 (0,1%)	2 (0,1%)	0,577
Luftfahrzeugtyp			<0,001
Jet	731 (21,5%)	591 (30,2%)	
Flächenflugzeug	1651 (48,6%)	863 (44,1%)	
Hubschrauber	1014 (29,8%)	503 (25,7%)	

Dargestellt sind Median und interquartile Range (IQR) oder die absolute und relative Anzahl. Cholesterin: 1 mg/dl = 0,02586 mmol/l; Triglyceride: 1 mg/dl = 0,0113 mmol/l; Glukose: 1 mg/dl = 0,0555 mmol/l. Signifikante p*-Werte sind durch Fettdruck hervorgehoben. BMI = Body Mass Index; HDL = High Density Lipoprotein; LDL = Low Density Lipoprotein; n = Anzahl; PROCAM = Prospective Cardiovascular Münster; CVD = kardiovaskuläre Erkrankung (cardiovascular disease).

Die Ergebnisse der kardiovaskulären Risikofaktoren für die Piloten und Pilotinnen, die sowohl im ersten als auch im zweiten Dreijahreszeitraum untersucht wurden, sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Kardiovaskuläre Risikofaktoren und PROCAM-Scores (nicht altersadjustiert und altersadjustiert) für die Piloten und Pilotinnen, die in beiden Untersuchungszeiträumen 2007-2009 und 2016-2018 untersucht wurden (übersetzt aus [45]).

	2007-09	2016-18	p*-Wert
N	1717		
Alter [Jahre]	33,8 (15,9)	42,9 (15,8)	<0,001
Geschlecht			
männlich	1693 (98,6%)		
weiblich	24 (1,4%)		
BMI [kg/m ²]	24,8(3,4)	25,6 (3,7)	<0,001
BMI-Kategorien			<0,001
Normal (< 25 kg/m ²)	928 (54,0%)	699 (40,7%)	
Übergewichtig (≥ 25 and < 30 kg/m ²)	741 (43,2%)	942 (54,9%)	
Adipös (> 30 kg/m ²)	48 (2,8%)	75 (4,4%)	
Pos. Familienanamnese	196 (11,4%)	194 (11,3%)	0,157
Rauerstatus			<0,001
Raucher	366 (21,3%)	290 (16,9%)	
Ex-Raucher	83 (4,8%)	171 (10,0%)	
Nie-Raucher	1268 (73,8%)	1256 (73,2%)	
Antihypertensive Medikation	16 (0,9%)	4 (0,2%)	0,007
Diabetes mellitus	4 (0,2%)	4 (0,2%)	1,000
Cholesterin [mg/dl]	189,0 (49,0)	199,0 (47,0)	<0,001
HDL [mg/dl]	52,0 (16,0)	54,0 (17,0)	<0,001
LDL [mg/dl]	124,0 (43,0)	133,0 (43,0)	<0,001
Glukose [mg/dl]	93,0(9,0)	96,0 (11,0)	<0,001
Triglyceride [mg/dl]	94,0 (59,0)	103,0 (60,0)	<0,001
Systolischer Blutdruck [mm Hg]	120,0 (13,0)	120,0 (15,0)	<0,001
Diastolischer Blutdruck [mm Hg]	80,0 (5,0)	80,0 (8,0)	<0,001
PROCAM-Score	17(15)	24(17)	<0,001
CVD Risiko ≥5% (PROCAM ≥ 38)	77 (4,5%)	252 (14,7%)	<0,001
CVD Risiko ≥10% (PROCAM ≥ 45)	18 (1,0%)	93 (5,3%)	<0,001
PROCAM-Score altersadjustiert	14(11)	15(12)	<0,001
CVD Risiko ≥5% (PROCAM ≥ 38)	10 (0,6%)	14 (0,8%)	0,414
CVD Risiko ≥10% (PROCAM ≥ 45)	1(0,1%)	2(0,1%)	0,564
Luftfahrzeugtyp			0,095
Jet	464 (27,0%)	473 (27,5%)	
Flächenflugzeug	787 (45,8%)	782 (45,5%)	
Hubschrauber	466 (27,1%)	462 (26,9%)	

Dargestellt sind Median und interquartile Range (IQR) oder die absolute und relative Anzahl. Cholesterin: 1 mg/dl = 0,02586 mmol/l; Triglyceride: 1 mg/dl = 0,0113 mmol/l; Glukose: 1 mg/dl = 0,0555 mmol/l. Signifikante p*-Werte sind durch Fettdruck hervorgehoben. BMI = Body Mass Index; HDL = High Density Lipoprotein; LDL = Low Density Lipoprotein; n = Anzahl; PROCAM = Prospective Cardiovascular Münster; CVD = kardiovaskuläre Erkrankung (cardiovascular disease).

Eine Subanalyse der Piloten und Pilotinnen verschiedener Flugzeugtypen zeigte, dass die Jet-Piloten und -Pilotinnen signifikant jünger waren (32,9 bzw. 38,9 Jahre) als die der Hubschrauber (36,9 bzw. 40,8 Jahre) und der Flächenflugzeuge (36,9 bzw. 44,8 Jahre). In den neun Jahren zwischen den beiden Beobachtungszeiträumen stieg der Median des Pilotenalters um Werte zwischen 3,9 (Hubschrauber) und 7,9 Jahren (Flächenflugzeuge) an. Der PROCAM-Score war bei Hubschrauberpiloten und -pilotinnen am niedrigsten und bei solchen von Flächenflugzeugen am höchsten. Diese Reihenfolge galt ähnlich auch nach Altersadjustierung. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Alter und PROCAM-Score (nicht altersadjustiert und altersadjustiert) für Piloten und Pilotinnen in den Untersuchungszeiträumen 2007-2009 und 2016-2018 und für verschiedene Luftfahrzeugtypen (übersetzt aus [45]).

		2007-09	2016-18	Δ	p*-Wert
Alter	Jet	32,9 (18,3)	38,9 (18,8)	+6,0	p<0,001
	Flächenflugzeug	36,9 (18,1)	44,8 (15,7)	+7,9	p<0,001
	Hubschrauber	36,9 (10,2)	40,8 (14,3)	+3,9	p<0,001
		p < 0,001	p < 0,001		
PROCAM	Jet	18,0 (17,0)	21,0 (18,0)	+3,0	p<0,001
	Flächenflugzeug	20,0 (17,0)	25,0 (19,0)	+5,0	p<0,001
	Hubschrauber	17,0 (15,0)	21,0 (18,0)	+4,0	p<0,001
		p < 0,001	p < 0,001		
PROCAM alters-adjustiert	Jet	15,0 (12,0)	15,0 (11,0)	+0,0	p=0,582
	Flächenflugzeug	15,0 (11,0)	15,0 (12,0)	+0,0	p=0,043
	Hubschrauber	14,0 (12,0)	13,0 (11,0)	-1,0	p=0,321
		p = 0,072	p < 0,001		

Dargestellt sind Median und interquartile Range, n = 5353.

Signifikante p*-Werte sind durch Fettdruck hervorgehoben.

Δ = Differenz; PROCAM = Prospective Cardiovascular Münster.

Bei den Probanden und Probandinnen, die in beiden Untersuchungszeiträumen untersucht wurden (Tabelle 9) waren die Jet-Piloten und -Pilotinnen ebenfalls am jüngsten, die Piloten und Pilotinnen der beiden anderen Gruppen waren im Median vier Jahre älter. Der PROCAM-Score war auch hier bei Hubschrauber-Piloten und -Pilotinnen am niedrigsten, bei solchen von Flächenflugzeugen am höchsten.

Tabelle 9: Alter und RROCAM-Score (nicht altersadjustiert und altersadjustiert) für Piloten und Pilotinnen, die in beiden Untersuchungszeiträumen 2007-2009 und 2016-2018 untersucht wurden und für verschiedene Luftfahrzeugtypen (übersetzt aus [45]).

		2007-09	2016-18	Δ	p*-Wert
Alter	Jet	31,3 (17,7)	40,9 (17,9)	+9,6	<0,001
	Flächenflugzeug	35,9 (15,9)	45,9 (15,2)	+10,0	<0,001
	Hubschrauber	31,9 (14,4)	40,9 (14,1)	+9,0	<0,001
		<0,001	<0,001		
PROCAM	Jet	17,0 (15,0)	23,0 (17,0)	+6,0	<0,001
	Flächenflugzeug	18,0 (14,0)	26,0 (19,0)	+8,0	<0,001
	Hubschrauber	15,0 (13,0)	21,0 (18,0)	+6,0	<0,001
		<0,001	<0,001		
PROCAM alters-adjustiert	Jet	15,0 (12,0)	16,0 (12,0)	+1,0	0,001
	Flächenflugzeug	15,0 (11,0)	16,0 (13,0)	+1,0	<0,001
	Hubschrauber	12,0 (11,0)	13,0 (11,0)	+1,0	0.013
		<0,001	<0,001		

Dargestellt sind Median und interquartile Range, n = 5353.

Signifikante p*-Werte sind durch Fettdruck hervorgehoben.

Δ = Differenz; PROCAM = Prospective Cardiovascular Münster.

Schlussfolgerung:

Die Analyse zeigt, dass die Anzahl der aktiven Piloten und Pilotinnen der Bundeswehr in den neun Jahren zwischen den beiden Untersuchungszeiträumen 2007-2009 und 2016-2018 abgesunken ist. Das mittlere Alter, der BMI, das Gesamt-, HDL- und LDL-Cholesterin, die Triglyceride, die Glukose und der PROCAM-Score stiegen bei Piloten und Pilotinnen aller Luftfahrzeugtypen an. Der Raucherstatus hat sich jedoch gebessert. Die PROCAM-Scores waren für Hubschrauber-Piloten und -Pilotinnen am niedrigsten und für solche von Flächenflugzeugen am höchsten. Da kardiovaskuläre Erkrankungen, und insbesondere die KHK, kritische Erkrankungen für Piloten und Pilotinnen darstellen und ohne vorausgehende Symptome zur plötzlichen Handlungsunfähigkeit führen können, wird der Altersanstieg und damit der Anstieg vieler kardiovaskulärer Risikofaktoren zunehmend eine große Herausforderung für die Flugmedizin in Deutschland und anderen Ländern der westlichen Welt darstellen. Auf der anderen Seite haben Piloten und Pilotinnen ein hohes Gesundheitsbewusstsein und werden regelmäßig untersucht, so dass das kardiovaskuläre Risikoprofil insgesamt relativ stabil und besser als in der Allgemeinbevölkerung war. Ein

Monitoring des kardiovaskulären Risikoprofils wird für fliegendes Personal und auch für andere Hochrisikoberufe weiterhin von entscheidender Bedeutung sein.

2.4. Die Wiederaufnahme des Flugdienstes nach Katheterablationen von Herzrhythmusstörungen beim fliegenden Personal der Bundeswehr

Eine Analyse des Verlaufes nach Katheterablation kardialer Arrhythmien bei fliegendem Personal der Bundeswehr sowie flugmedizinischer Begutachtungsergebnisse wurde in **Guettler N, Nicol E, Sammito S. Return to flying after catheter ablation of arrhythmic disorders in military aircrew. *Aerosp Med Hum Perform* 2022; 93(10):725-733 [54]** publiziert.

Neben der KHK sind Herzrhythmusstörungen eine weitere wichtige Gruppe kardialer Erkrankungen, die bei der Begutachtung von fliegendem Personal und bei Beschäftigten in anderen Hochrisikoberufen beachtet werden muss. Eine effektive und häufig angewendete Behandlungsmethode vieler tachykarder Herzrhythmusstörungen ist die Katheterablation [55–57]. Sie hat bei fliegendem Personal und Personal in anderen Hochrisikoberufen außerdem den Vorteil, dass sie eine Alternative zu einer medikamentösen antiarrhythmischen Dauertherapie darstellt, die wegen des Nebenwirkungsprofils vieler Antiarrhythmika mit einer Tätigkeit in solchen Berufen nicht oder nur eingeschränkt vereinbar wäre [32]. Aber auch nach einer Katheterablation muss wegen der besonderen physischen Belastungen des fliegenden Personals genau geprüft werden, ob, wann und ggf. mit welchen Einschränkungen der Flugdienst wieder aufgenommen werden kann [6].

Nach den meisten flugmedizinischen Vorschriften ist fliegendes Personal nach einer Katheterablation zunächst fluguntauglich. Die Wiederaufnahme des Flugdienstes mit oder ohne Einschränkungen ist erst nach einer gewissen Beobachtungsphase möglich. Die EASA fordert für Piloten und Pilotinnen der Klasse 1 pauschal entweder eine Doppelsteuerauflage für mindestens ein Jahr oder alternativ eine diagnostische invasive elektrophysiologische

Untersuchung mindestens zwei Monate nach Ablation, um einen anhaltenden Ablationserfolg sicherzustellen [14]. Bei unsicherer Prognose kann die Phase mit Doppelsteuerauflage auch verlängert werden. In jedem Fall ist bei Piloten und Pilotinnen der Klasse 1 aber eine Verweisung an die lizensierende Behörde, in Deutschland das Luftfahrtbundesamt, erforderlich. Bei Piloten und Pilotinnen der Klasse 2 ist eine Konsultation mit der lizensierenden Behörde nach zufriedenstellender kardiologischer Diagnostik mindestens zwei Monate nach Ablation erforderlich. Auch das Kabinenpersonal muss vor Wiederaufnahme des Flugdienstes nach Katheterablation eine kardiologische Untersuchung mit zufriedenstellenden Ergebnissen durchlaufen [14]. Fluglotsen und -lotsinnen müssen ebenfalls vor Wiederaufnahme ihres Dienstes mindestens zwei Monate nach Ablation kardiologisch untersucht werden, wozu nach Vorschrift auch eine elektrophysiologische Untersuchung gehört [58]. Eine Verweisung an die lizensierende Behörde, in Deutschland das Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung, ist ebenfalls erforderlich. Die FAA als zivile lizensierende Behörde der USA schreibt nach Katheterablationen eine dreimonatige Wartezeit gefolgt von einem Langzeit-EKG vor [16]. Wenn das Langzeit-EKG unauffällig ist und keine Hinweise für ein Rezidiv enthält, kann die Flugtauglichkeit attestiert werden, anderenfalls muss die FAA die Entscheidung über das weitere Vorgehen treffen. Fliegerärztliche Sondergenehmigungen bei Gesundheitsstörungen sind bei der United States Air Force im United States Air Force Waiver Guide geregelt [59]. Auch nach dieser Vorschrift sind Probanden und Probandinnen nach einer Katheterablation zunächst untauglich, eine Sondergenehmigung kann jedoch erteilt werden, wobei die Beobachtungszeit von der Klasse der Flugtauglichkeit und von der behandelten Arrhythmie abhängt. Erstbewerber*innen für den fliegerischen Dienst erhalten nach einer Ablation von Vorhofflimmern oder ventrikulären Tachykardien auf dem Boden von myokardialen Infiltrationen oder Narbengewebe keine Sondergenehmigung.

Das Ziel unserer Studie war zu untersuchen, wie viele Piloten und Pilotinnen sowie andere Besatzungsangehörige nach Katheterablationen den Flugdienst wieder aufnehmen können. Außerdem sollte die Frage beantwortet werden, ob statt des bisher in Europa eher pauschalen

Vorgehens im Hinblick auf die Beobachtungszeit, auf Kontrolluntersuchungen und auf Einschränkungen für den Flugdienst eher ein individuelles Vorgehen unter Berücksichtigung der Arrhythmie und der Ablationsprozedur angebracht wäre. Ein solches individuelles Vorgehen wird ansatzweise in der United States Air Force verfolgt.

Das digitale Informationssystem des Zentrums für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe wurde deshalb nach Piloten und Pilotinnen sowie anderen Besatzungsangehörigen durchsucht, die zwischen 2004 und 2020 untersucht wurden und eine Katheterablation erhalten hatten [54]. Zusätzlich wurden die Papierakten auf relevante Informationen einschließlich der Arztbriefe und der Berichte über die Ablationen ausgewertet. Wenige Probanden und Probandinnen waren bereits vor Eintritt in die Bundeswehr abladiert worden, so dass die frühesten Ablationen in den Jahren 1996 und 1997 durchgeführt wurden. Analytierte Parameter waren Alter, Geschlecht, zugrundeliegende oder begleitende Erkrankungen, die abladierte Arrhythmie, Komplikationen, Rezidive, der Zeitraum zwischen primärer Ablation und Reablation, die Gesamtzahl der Ablationen sowie die flugmedizinische Entscheidung hinsichtlich Tauglichkeit und Einschränkungen.

Zwischen 2004 und 2020 wurden 36 Probanden und Probandinnen untersucht, die eine Katheterablation erhalten hatten, 25 Piloten oder –anwärter und elf andere Besatzungsmitglieder. Zwei der Besatzungsmitglieder, die keine Piloten oder Pilotinnen waren, waren weiblich, alle anderen männlich. Die Anzahl der Probanden und Probandinnen geordnet nach unterschiedlichen Arrhythmien und die Anzahl derer, die Rezidive bekamen, ist in Abbildung 11 dargestellt.

Sieben Probanden und Probandinnen wurden wegen zwei oder mehr verschiedener Arrhythmien abladiert, zehn wurden mehr als einmal abladiert. Vier der Piloten hatten eine begleitende Erkrankung, drei davon eine medikamentös therapierte arterielle Hypertonie, bei einem davon wurde zusätzlich eine Koronarstenose von unter 50% festgestellt. Der vierte, ein Pilotenanwärter, hatte einen Mitralklappenprolaps und im Langzeit-EKG mehrere Pausen

tagsüber von bis zu 2,4 Sekunden bei einem sinuatrialen Block. Von den anderen Besatzungsmitgliedern wurden fünf mit einer begleitenden Erkrankung identifiziert. Dies waren ein Diabetes mellitus Typ 2 mit leichtem Bluthochdruck, eine chronisch obstruktive Lungenerkrankung in Verbindung mit Atherosklerose und arterieller Hypertonie, eine leichte arterielle Hypertonie, eine arterielle Hypertonie in Verbindung mit einer Borreliose vor der Ablation und eine Myokarditis vor Beginn der Arrhythmie. Zwei Piloten und zwei andere Besatzungsmitglieder wurden Jahre vor Eintritt in die Bundeswehr ablatiert und waren zwischenzeitlich rhythmusstabil.

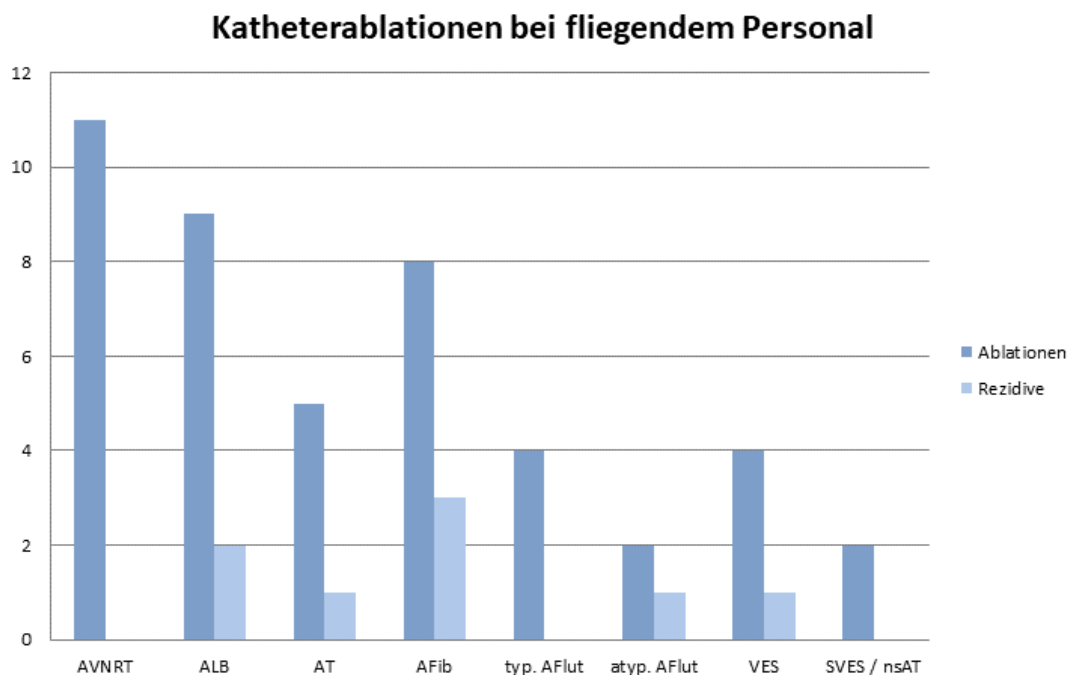


Abbildung 11: Katheterablationen bei deutschem militärischem fliegendem Personal, das zwischen 2004 und 2020 am Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe untersucht wurde. Das Diagramm zeigt die Anzahl der primären Ablationen für verschiedene Arrhythmien (dunkelblau) sowie die Anzahl der Probanden und Probandinnen mit einem oder mehreren Rezidiven (hellblau). AVNRT = AV-Knoten-Reentrytachykardie; ALB = akzessorische Leitungsbahn; AT = atriale Tachykardie; AFib = Vorhofflimmern (atrial fibrillation); AFlut = Vorhofflattern (atrial flutter); VES = ventrikuläre Extrasystolen; SVES = supraventrikuläre Extrasystolen; nsAT = nicht anhaltende (non-sustained) atriale Tachykardie (übersetzt und modifiziert aus [54]).

Die Abbildungen 12 und 13 stellen die Zeiträume von der primären Ablation bis zur Reablation wegen eines Rezidivs oder bis zur Ablation einer anderen Arrhythmie dar. Die Tabelle 10 beschreibt die flugmedizinische Entscheidung sowie zusätzliche Faktoren wie Alter, Begleiterkrankung, Flugzeugtyp, die diese Entscheidung mit beeinflusst haben.

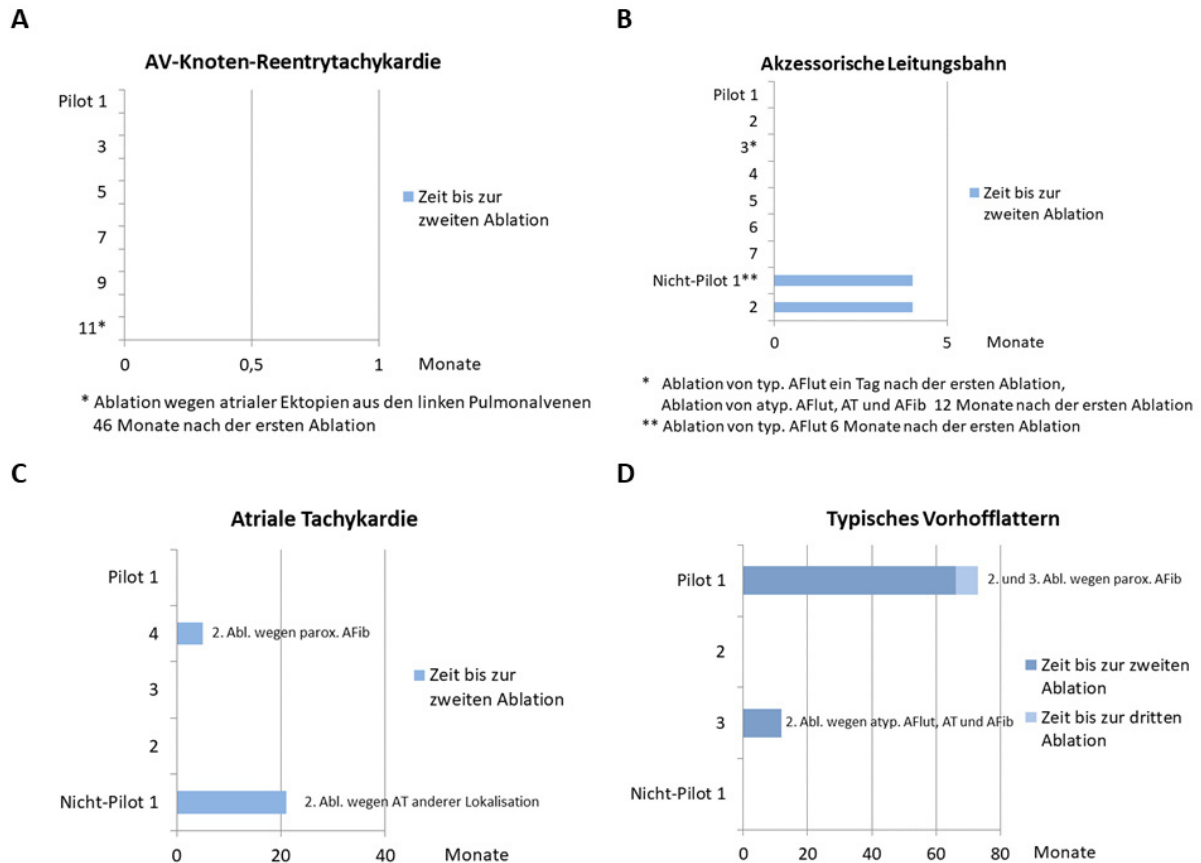


Abbildung 12: Katheterablationen bei deutschem militärischem fliegendem Personal, das zwischen 2004 und 2020 untersucht wurde. **A** AV-Knoten-Reentrytachykardie. **B** Akzessorische Leitungsbahn. **C** Atriale Tachykardie. **D** Typisches Vorhofflattern. Die Diagramme zeigen die Zeiträume bis zu weiteren Ablationen wegen eines Rezidivs derselben oder wegen einer anderen Arrhythmie. Arrhythmien, die erst Jahre nach der primären Ablation aufgetreten sind und als unabhängig von dieser zu werten sind, wurden mit einem Stern gekennzeichnet. Probanden und Probandinnen können in mehreren Diagrammen dargestellt sein, wenn sie wegen verschiedener Arrhythmien ablatiert wurden. In den Begriff "nicht-Pilot" ist hier die weibliche Form miteingeschlossen. AV = atrioventrikulär; AFlut = Vorhofflattern; AT = atriale Tachykardie; AFib = Vorhofflimmern (übersetzt und modifiziert aus [54]).

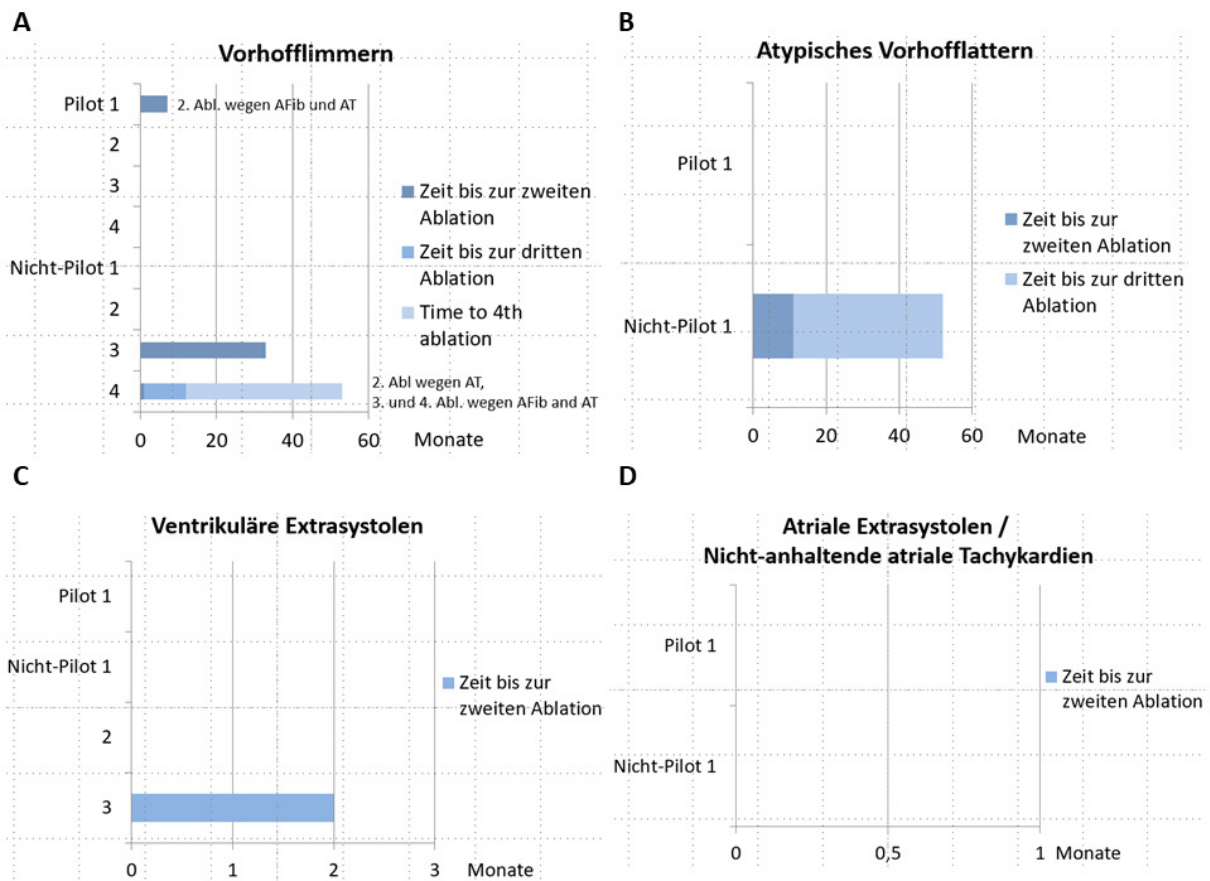


Abbildung 13: Katheterablationen bei deutschem militärischem fliegendem Personal, das zwischen 2004 und 2020 untersucht wurde. **A** Vorhofflimmern. **B** Atypisches Vorhofflattern. **C** Ventrikuläre Extrasystolen. **D** Supraventrikuläre Extrasystolen / nicht-anhaltende atriale Tachykardie. Die Diagramme zeigen die Zeiträume bis zu weiteren Ablationen wegen eines Rezidivs derselben oder wegen einer anderen Arrhythmie. Probanden und Probandinnen können in mehreren Diagrammen dargestellt sein, wenn sie wegen verschiedener Arrhythmien ablatiert wurden. In den Begriff "Nicht-Pilot" ist hier die weibliche Form miteingeschlossen. AFib = Vorhofflimmern; AT = atriale Tachykardie (übersetzt und modifiziert aus [54]).

Tabelle 10 (A – H): Flugmedizinische Entscheidungen und zusätzliche Informationen, die diese Entscheidung beeinflussten, bei deutschem militärischem fliegendem Personal, das eine oder mehrere Katheterablationen erhalten hat und zwischen 2004 und 2020 flugmedizinisch untersucht wurde. Einzelne Probanden und Probandinnen sind mehrfach vertreten, wenn sie wegen mehrerer Arrhythmien ablatiert wurden. No. = Nummer; KHK = Koronare Herzkrankheit; OML = Operational Multicrew Restriction (Doppelsteuerauflage); RPA = Remotely Piloted Aircraft (Drohne); HZF = Humanzentrifuge; SVES = supraventrikuläre Extrasystole; AFib = Atrial Fibrillation (Vorhofflimmern); COPD = Chronic Obstructive Pulmonary Disease (chronisch obstruktive Lungenerkrankung) (übersetzt und modifiziert aus [54]).

Funktion / No.	Geschlecht	Alter bei erster Ablation [Jahre]	Begleiterkrankung	Flugzeugtyp	Zeit von der Ablation bis zur Wiederaufnahme des Flugdienstes [Monate]	Einschränkungen
A AV-Knoten-Reentrytachykardie						
Pilot 1	m	53	keine	Hubschrauber	3	OML für 4 Monate
2	m	51	keine	Hubschrauber	1,5	keine
3	m	57	Hypertonie, KHK (Stenosen <50%)	Jet (nicht als verantwortlicher Pilot)	8,5 (nach Testung in HZF)	OML (dauerhaft)
4	m	46	keine	Jet	aus anderen Gründen ausgeschieden	-
5	m	38	keine	RPA, Fläche	5	OML für 1 Jahr
6	m	21	keine	Jet (Bewerber)	6	keine
7	m	25	keine	Jet (Bewerber)	6,5	keine (nach Testung in HZF)
8	m	17	Mitralklappenprolaps, Pausen bis 2,4 s (SA-Block)	Fläche (Bewerber)	50	OML für 4 Jahre, kein Jet, kein Hubschrauber
9	m	23	keine	Jet (in Ausbildung)	5	keine (nach Testung in HZF)
10	m	10	keine	Bewerber (aus anderen Gründen ausgeschieden)	99 (Erstuntersuchung 8 Jahre nach Ablation)	keine
11	m	18	keine	Bewerber (Flugzeugtyp noch unklar)	37 (zweite Ablation wegen SVES, Erstuntersuchung 3 Jahre nach letzter Ablation)	keine
B Akzessorische Leitungsbahn						
Pilot 1	m	41	Hypertonie	Jet	6	keine
2	m	54	keine	Hubschrauber	7,5	keine
3	m	27	keine	Jet	4 (2 weitere Ablationen wegen anderer Arrhythmie)	OML für 7 Monate nach 3. Ablation
4	m	24	keine	Jet	2,5	OML für 9,5 Monate
5	m	19	keine	Bewerber (aus anderen Gründen ausgeschieden)	17	keine
6	m	20	keine	Bewerber (ausgeschieden)	untauglich wegen unklarer Symptomatik nach Ablation	-
7	m	30	keine	Bewerber (Flugzeugtyp noch unklar)	10	keine
Nicht-Pilot 1	m	46	Diab. mell. Typ 2, leichte Hypertonie	-	10 (seit letzter Ablation)	keine
2	m	23	keine	-	Erstuntersuchung 12 Jahre nach letzter Ablation	keine
C Atriale Tachykardie						
Pilot 1	m	38	keine	Hubschrauber	3	keine
2	m	32	keine	Jet	4 (nach weiterer Ablation wegen AFib)	keine (nach Testung in HZF)
3	m	37	keine	Hubschrauber	3	OML für 4,5 Jahre
4	m	27	keine	Fläche	4	OML für 5 Jahre
Nicht-Pilot 1	w	37	keine	-	8	keine

D Vorhofflimmern							
Pilot 1	m	47	Hypertonie	Fläche	7	OML (dauerhaft)	
2	m	55	keine	Fläche	2,5	OML (dauerhaft)	
3	m	32	keine	Jet	4	keine (nach Testung in HZF)	
4	m	27	keine	Jet	3,5	OML für 7 Monate	
Nicht-Pilot 1	m	57	COPD, Atherosklerose, Hypertonie	-	26	keine	
2	m	50	keine	-	5	keine	
3	m	41	leichte Hypertonie	-	6 (nach zweiter Ablation ausgeschieden)	keine	
4	m	32	Myokarditis	-	8 (nach letzter Ablation)	keine	
E Typisches Vorhofflattern							
Pilot 1	m	47	Hypertonie	Fläche	3,5	OML (dauerhaft)	
2	m	55	keine	Fläche	2,5	OML (dauerhaft)	
3	m	27	keine	Jet	4	OML für 7 Monate (nach letzter Ablation)	
Nicht-Pilot 1	m	46	Diab. Mell. Typ 2, leichte Hypertonie	-	10	keine	
F Atypisches Vorhofflattern							
Pilot 1	m	27	keine	Jet	3,5	OML für 7 Monate	
Nicht-Pilot 1	m	32	Myokarditis	-	8	keine	
G Ventrikuläre Extrasystolen							
Pilot 1	m	32	keine	Fläche	11	OML für 2,5 Jahre	
Non-Pilot 1	m	41	Hypertonie, Borreliose vor Ablation	-	30	keine	
2	w	26	keine	-	nach Ablation ausgeschieden	-	
3	m	35	keine	-	Erstuntersuchung 4,5 Jahre nach letzter Ablation	keine	
H Atriale Extrasystolen / nicht anhaltende atriale Tachykardie							
Pilot 1	m	18	none	Bewerber (Flugzeugtyp noch unklar)	37 (Erstuntersuchung 3 Jahre nach Ablation)	keine	
Nicht-Pilot 1	m	47	none	-	6	keine	

Schlussfolgerung:

Die Katheterablation ist eine häufig verwendete und effektive Behandlungsmethode für viele tachykarde Arrhythmien. Da solche Arrhythmien häufig bei herzgesunden Personen vorkommen, treten sie auch bei medizinisch vorselektioniertem und regelmäßig gesundheitlich überwachtem Personal auf wie etwa in der Fliegerei und in anderen Hochrisikoberufen. In unserer Kohorte konnten fast alle abladierten Personen den Flugdienst anschließend wieder aufnehmen, wenn auch zum Teil mit Einschränkungen. Die flugmedizinische Entscheidung hängt dabei von der abladierten Arrhythmie, während der Ablation aufgetretenen Komplikationen, der Symptomatik vor der Ablation und von eventuellen Begleiterkrankungen ab. Wie unsere Daten zeigen, hängen das Auftreten von Rezidiven, die mögliche Zeitdauer bis zum Auftreten der Rezidive und das Vorkommen von Zweitarrhythmien deutlich von der

primär abladierten Herzrhythmusstörung ab. Ein einheitliches flugmedizinisches Vorgehen unabhängig von der abladierten Arrhythmie, wie es in den europäischen Vorschriften vorgesehen ist, erscheint daher nicht gerechtfertigt. Für eine adäquate Entscheidungsfindung ist eine enge Kooperation zwischen dem AME oder AeMC und einem spezialisierten Elektrophysiologen sinnvoll.

2.5. Die Prävalenz des Gebrauchs von Nahrungsergänzungsmitteln bei Militärpiloten und -pilotinnen – Ergebnisse einer Untersuchung in der deutschen Bundeswehr

Eine Erhebung zur Prävalenz von Nahrungsergänzungsmitteln bei deutschen Militärpiloten und -pilotinnen wurde in **Sammito S, Erley OM, Rose DM, Guettler N. The prevalence of dietary supplement usage on military aviators. *Int J Environ Res Public Health* 2022; 19(9):5017 [60]** publiziert.

Der Gebrauch von Nahrungsergänzungsmitteln und Energy Drinks kann je nach Substanz mit unterschiedlichen Nebenwirkungen einhergehen, darunter auch Herzrhythmusstörungen. Eine Befragung nach der Einnahme solcher Substanzen gehört deshalb zur Anamnese bei Erst- und Nachuntersuchungen von fliegendem Personal.

Der Gebrauch von Nahrungsergänzungsmitteln ist in den letzten vier Jahrzehnten kontinuierlich angestiegen. In den USA konsumiert derzeit jeder zweite Erwachsene täglich Nahrungsergänzungsmittel (49-54%), zwei Drittel konsumieren sie regelmäßig (64-69%) [61, 62]. In der deutschen Bevölkerung gebrauchen dagegen nur 18-50% der Erwachsenen solche Substanzen [63-65].

Nahrungsergänzungsmittel können ohne Rezept käuflich erworben werden. Viele enthalten Vitamine, Minerale und Spurenelemente, die zusätzlich zur Nahrung zugeführt werden sollen. Daneben werden manche Substanzen aber vor allem von Athleten und Athletinnen sowie

anderen körperlich aktiven Menschen aufgenommen, um die Gesundheit zu fördern und die Leistungsfähigkeit zu steigern [66, 67]. Das betrifft auch Soldaten und Soldatinnen, von denen nach einer Erhebung je nach Tätigkeit 55% bis 76% Nahrungsergänzungsmittel einnehmen [66]. Angehörige von Spezialkräften sind besonders betroffen [68].

Die Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln muss kritisch gesehen werden [69]. So hat die Einnahme antioxidativ wirkender Vitamine zur Prävention kardiovaskulärer Erkrankungen keinen [70] oder sogar einen negativen Effekt gezeigt [71]. Viele untersuchte Substanzen waren mit androgenen und anabolen Stoffen oder Prohormonen kontaminiert [72-74].

Obwohl es in der Literatur Hinweise auf die Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln bei der Luftwaffe gibt [75, 76], gab es bisher keine systematische Untersuchung zur Einnahme solcher Substanzen bei Piloten und Pilotinnen. Gerade durch die hohe Belastung von Militärpiloten und -pilotinnen durch hohe Beschleunigungskräfte, hypobare Hypoxie und fordernde Einsatzprofile sind die Einnahmegewohnheiten in dieser Gruppe besonders interessant. Das Ziel unserer Studie war es daher, bei deutschen Militärpiloten und -pilotinnen die Einnahmeprävalenz von Nahrungsergänzungsmitteln und Energy Drinks, die Gründe für die Einnahme und die Bezugsquelle dieser Substanzen zu untersuchen [60]

Dazu wurde eine Online-Befragung mittels LimeSurvey (LimeSurvey GmbH, Hamburg) durchgeführt. Zunächst wurden alle Geschwaderkommandeure der Bundeswehr über Hintergrund und Teilnahmemodalitäten der Studie informiert. Die Kommandeure wurden gebeten, diese Informationen an die aktiven Piloten und Pilotinnen ihres Geschwaders weiterzugeben und sie zur Teilnahme zu motivieren. Piloten und Pilotinnen von Jets, Flächenflugzeugen, Hubschraubern und Drohnen wurde die Möglichkeit zur Teilnahme gegeben. Der Fragebogen bestand aus mindestens zehn Fragen. Er umfasste demographische Daten zu Geschlecht, Alter, Körpergröße und Gewicht sowie Daten zu sportlichen Aktivitäten, zum geflogenen Luftfahrzeugtyp und zum Gebrauch von Nahrungsergänzungsmitteln. Wenn der Gebrauch solcher Substanzen angegeben wurde,

wurde zusätzlich nach den Produktnamen, der Häufigkeit des Gebrauchs, dem erhofften Effekt, der Quelle des Erwerbs und nach der Person gefragt, die die Einnahme empfohlen hatte. Außerdem wurde nach der Einnahme von Energy Drinks, deren Häufigkeit und nach dem Grund der Einnahme gefragt. Die Fragen konnten unabhängig voneinander beantwortet werden, jede Frage konnte unbeantwortet bleiben. Der Fragebogen konnte zwischen dem 16. November 2020 und dem 24. Januar 2021 online beantwortet werden, wobei dienstliche IT, private Computer, Tablets und Smartphones als Endgeräte genutzt werden konnten. Für die Beantwortung benötigten die Teilnehmer und Teilnehmerinnen durchschnittlich 3:36 Minuten (min. 0:24 Minuten, max. 28:36 Minuten). Die Testpersonen wurden über den Zweck der Studie und über die Datensicherheit informiert. Die Teilnahme war freiwillig, setzte eine aktive Kommunikation seitens der Probanden und Probandinnen voraus (informeller Konsens) und wurde vom Bundesministerium der Verteidigung genehmigt (Referenznummer 988 [192-24]). Ein Ethikvotum war nach den Regeln der bayerischen Landesärztekammer für diese anonyme Befragung nicht erforderlich.

202 beantwortete Fragebögen wurden registriert, 19 wurden wegen fehlender Daten und 2 wegen einer fehlenden Fluglizenz ausgeschlossen, so dass schließlich 181 Piloten und Pilotinnen (179 männliche, 2 weibliche, Alter im Median 37 Jahre (min: 24 Jahre, max: 59 Jahre)) eingeschlossen wurden (Abbildung 14).

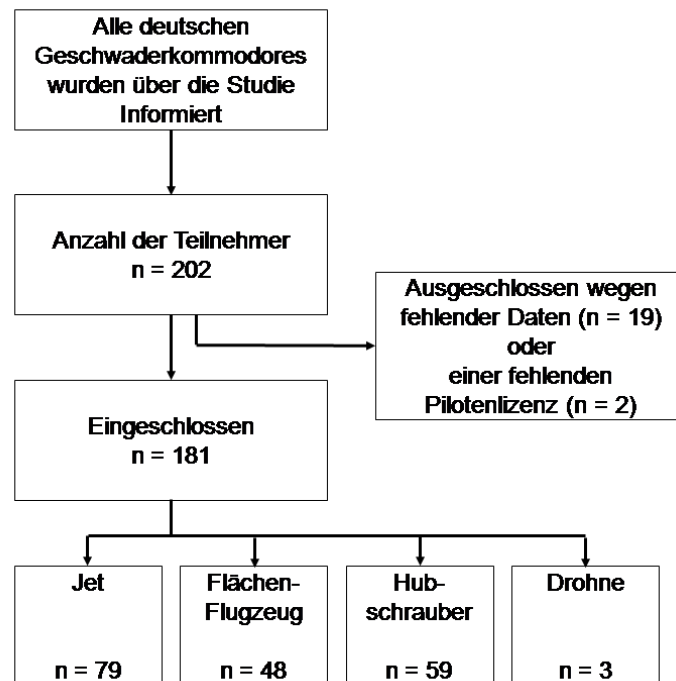


Abbildung 14: Prozess des Einschusses der Testpersonen (übersetzt aus [60]).

Alle Daten wurde von der LimeSurvey Software in IBM SPSS Statistics Version 24 (IBM, Armonk, USA) exportiert und deskriptiv analysiert. Unterschiede zwischen unabhängigen Gruppen wurden mit dem Chi²-Test oder dem Kruskal-Wallis-Test analysiert mit einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$.

Von den analysierten 181 Piloten und Pilotinnen flogen 71 Jet, 48 Flächenflugzeuge, 59 Hubschrauber und drei Drohnen, wobei die Drohnenpiloten und -pilotinnen wegen der geringen Anzahl nicht weiter analysiert wurden. Nach eigener Aussage nahmen 34% (60/178) regelmäßig Nahrungsergänzungsmittel und 16% (29/178) regelmäßig Energy Drinks ein. Im Durchschnitt wurden zwei unterschiedliche Nahrungsergänzungsmittel konsumiert, in den meisten Fällen täglich. Energy Drinks wurden mindestens wöchentlich konsumiert, von 16% der Piloten und Pilotinnen öfter. 64% (17/26) gaben keine Begründung für den Gebrauch von Energy Drinks an, 19% (5/26) tranken sie zur Bekämpfung von Müdigkeit und 15% (4/26) wegen des Geschmacks. Im Vergleich der Luftfahrzeugtypen gab es keine signifikanten

Unterschiede betreffend Geschlecht, Alter, sportlicher Aktivität, des Gebrauchs von Nahrungsergänzungsmitteln oder Energy Drinks (in jedem Fall $p > 0,05$) (Tabelle 11).

Tabelle 11: Gesamtzahl der Teilnehmer und Anzahl der Piloten und Pilotinnen für die drei Flugzeugtypen mit Median (Interquartile Range) für Alter, Anzahl der Männer, sportliche Aktivitäten und Prävalenz des Gebrauchs von Nahrungsergänzungsmitteln oder Energy Drinks (übersetzt aus [60]).

	Gesamt	Jet	Flächen- flugzeug	Hubschrauber	p
n	178	71 (40%)	48 (27%)	59 (33%)	
n Männer	176	70 (99%)	48 (100%)	58 (98%)	0,680
Alter [Jahre]		36 (9)	39 (14)	36 (11)	0,195
Sportlich aktiv	152 (85%)	62 (87%)	38 (79%)	52 (88%)	0,357
Einnahme von Nahrungs- ergänzungsmitteln	60 (34%)	22 (31)	20 (42%)	18 (31%)	0,393
Einnahme von Energy Drinks	29 (16%)	16 (23%)	5 (10%)	8 (14%)	0,168

Es gab jedoch einen signifikanten Unterschied beim Gebrauch von Nahrungsergänzungsmitteln zwischen den Gruppen mit und ohne sportliche Aktivität (37% vs. 15%, $p = 0,032$, Odds Ratio (OR) 2,395 [95% Konfidenzintervall (CI): 0,949-6,040]). Dagegen war die Einnahme von Energy Drinks in beiden Gruppen vergleichbar (17% vs. 12%, $p = 0,478$, OR 1,482 [95% CI: 0,484-4,545]).

50% der Piloten und Pilotinnen bestellten ihre Nahrungsergänzungsmittel online, gefolgt vom Kauf im Supermarkt (27%). Nur 17% bezogen die Nahrungsergänzungsmittel aus der Apotheke und 10% von ihrem Militärarzt bzw. der Militärärztin (Tabelle 12).

Tabelle 12: Antworten auf die Frage, wo die Nahrungsergänzungsmittel gekauft bzw. von wo sie erhalten wurden. Mehrere Antworten waren möglich, $n = 60$ (übersetzt aus [60]).

Nahrungsergänzungsmittel gekauft / erhalten von	Anzahl
Internet	30 (50%)
Supermarkt	16 (27%)
Apotheke	10 (17%)
Arzt / Ärztin	6 (10%)
Sportgeschäft	2 (3%)
Fitnessstudio	1 (2%)
Keine Angabe	10 (17%)

Die meisten Piloten und Pilotinnen entschieden sich nach eigener Beschäftigung mit dem Thema für die Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln, während sie in 23% von Militärarzt oder -ärztin und in 16% von Sportskameraden und -kameradinnen empfohlen wurden (Tabellen 13).

Proteine (33%), Magnesium (22%) und Omega-3-Fettsäuren (20%) waren die am häufigsten eingenommenen Nahrungsergänzungsmittel, die Spannweite war jedoch groß (Tabelle 14).

Tabelle 13: Antworten auf die Frage, wer die Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln empfohlen hat. Mehrere Antworten waren möglich, n = 60 (übersetzt aus [60]).

Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln empfohlen durch	Anzahl
Eigene Recherchen	35 (58%)
Truppenarzt / -ärztin	14 (23%)
Sportskamerad / -kameradin	10 (17%)
Internetforen	7 (12%)
Kameraden / Kameradinnen	6 (10%)
Nichtärztliches medizinisches Personal	4 (7%)
Freunde / Freundinnen und Familie	2 (3%)
Sportmagazine	2 (3%)
Keine Angaben	13 (22%)

Tabelle 14: Gruppen von eingenommenen Nahrungsergänzungsmitteln. Die Prozentzahlen beziehen sich auf alle Piloten und Pilotinnen, die regelmäßig Nahrungsergänzungsmittel (im Median jeden Tag) einnehmen, absteigend geordnet nach der Anzahl, n = 60 (übersetzt aus [60]).

Nahrungsergänzungsmittel	Anzahl
Proteine	20 (33%)
Magnesium	13 (22%)
Omega-3-Fettsäuren	12 (20%)
Vitamin D	10 (17%)
Kreatin	7 (12%)
Multivitamin	7 (12%)
Vitamin B	6 (10%)
Zink	6 (10%)
Arginin	5 (8%)
Koffein	5 (8%)
Eisen	5 (8%)
Verzweigtkettige Aminosäuren (BCAA)	4 (7%)
Kalzium	4 (7%)
Selen	4 (7%)
Coenzym Q10	1 (2%)
Glutamin	1 (2%)
L-Carnitin	1 (2%)
Kalium	1 (2%)
Taurin	1 (2%)
Vitamin A	1 (2%)
Vitamin E	1 (2%)
Andere Nahrungsergänzungsmittel	4 (7%)
Keine Angabe	8 (13%)

42% der Piloten und Pilotinnen, die regelmäßig Nahrungsergänzungsmittel einnahmen, gaben an, den gewünschten Effekt tatsächlich bemerkt zu haben, 11 (18%) bemerkten keinen Effekt. In 36% der Fälle (29/143) wurden die Nahrungsergänzungsmittel eingenommen, um die Leistungsfähigkeit zu verbessern, in 22% (31/143) aus gesundheitlichen Gründen und in 20% (29/143) aus Gründen der Ernährung. In den anderen Fällen wurden andere (2%, 3/143) oder keine Gründe (20%, 29/143) angegeben.

Schlussfolgerung:

Die Prävalenz der Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln und Energy Drinks bei Militärpiloten und -pilotinnen in Deutschland ist mit der in der Allgemeinbevölkerung vergleichbar. Die Beschaffungsmodalitäten wie etwa der eigenständige Kauf im Internet oder im Supermarkt und das Spektrum der Substanzen sollten aber Anlass geben, die Piloten und Pilotinnen der Bundeswehr in dieser Thematik zu schulen und sie auf mögliche Gesundheitsrisiken mancher Substanzen aufmerksam zu machen. Manche Nahrungsergänzungsmittel mögen als Mittel der Gesundheitsvorbeugung geeignet sein, dies sollte aber im Vorfeld mit dem zuständigen Fliegerarzt bzw. der zuständigen Fliegerärztin besprochen werden.

2.6. Wiederaufnahme des Flugdienstes deutscher Militärpiloten und -pilotinnen nach COVID-19

Ergebnisse von flugmedizinischen Nachuntersuchungen deutscher Militärpiloten und -pilotinnen nach Infektion mit SARS-CoV-2 und daraus abgeleitete Vorschläge für den Untersuchungsumfang wurden in **Adam T, Sammito S, Nicol E, Guettler N. Return to flying duties of German military pilots after recovery from COVID-19. *BMJ Military Health* 2022; 0:1-5. [77]** publiziert.

Ende 2019 wurde in Wuhan, China, erstmals ein neues Coronavirus entdeckt, das als Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus Type 2 (SARS-CoV-2) bezeichnet wurde [78]. Durch die Weltgesundheitsorganisation wurde am 11. März 2020 eine Pandemie erklärt [79]. Die durch das Virus hervorgerufene Erkrankung, Coronavirus Disease 2019 (COVID-19), ist potenziell eine Multiorgan-Erkrankung mit unterschiedlich schweren Verläufen, die unter anderem Lunge, Herz, Niere, Darm, Gehirn und Blutgerinnungssystem betreffen kann. Während die meisten Erkrankungen einen leichten Verlauf nehmen, sind in anderen Fällen Krankenhausaufnahme oder sogar intensivmedizinische Behandlung mit Langzeitbeatmung

erforderlich [80, 81]. Als Risikofaktoren für einen schweren Krankheitsverlauf wurden höheres Lebensalter, Adipositas, kardiopulmonale Vorerkrankungen, Diabetes mellitus und Krebserkrankungen identifiziert [82]. Die Symptomatik kann von leichten grippeähnlichen Symptomen wie Husten über Fieber und Erschöpfung, Kopfschmerzen, Geruchs- und Geschmacksstörungen und Schwindel bis hin zu zerebrovaskulären Ereignissen, Belastungsdyspnoe, Ruhedyspnoe und kardialen Ereignissen variieren [81].

Folgende Pathomechanismen werden derzeit für die Entstehung der Erkrankung angenommen: (a) Eintritt des Virus in die Zelle durch Bindung an den Angiotensin Converting Enzyme (ACE)-2-Rezeptor, einen ubiquitär vorkommenden Membranrezeptor, (b) Down-Regulation des ACE-2 mit einer Abnahme des antifibrotischen und einer Zunahme des profibrotischen Angiotensins, (c) Überstimulation des körpereigenen Immunsystems mit Auslösung eines Zytokin-Freisetzungssyndroms mit Freisetzung von Interleukin 6 und 2 sowie Tumornekrosefaktor (TNF) alpha, (d) Induktion einer ubiquitären Endothelialitis, (e) prokoagulatorische Effekte mit Bildung von Mikrothromben bis hin zur disseminierten intravasalen Gerinnung [83, 84].

Symptome können lange persistieren. So wird nach den Leitlinien des National Institute for Health and Care Excellence (NICE) ein Anhalten der Symptome zwischen vier und zwölf Wochen als "Ongoing Symptomatic COVID-19" bezeichnet, bei einem "Post-COVID-Syndrom" halten die Symptome mehr als 12 Wochen an [85]. Typische Symptome eines Post-COVID-Syndroms sind Müdigkeit, Erschöpfung, Dyspnoe, Konzentrationsstörungen, Geruchs- und Geschmackseinschränkungen, Kopfschmerzen, gastrointestinale oder kardiale Symptome.

Wegen der körperlichen und mentalen Anforderungen insbesondere für Militärpiloten und -pilotinnen muss nach Gesundung sichergestellt werden, dass die Infektion komplett ausgeheilt ist und keine Symptome mehr persistieren, die in Ruhe auch subklinisch sein können. Eine ärztliche Untersuchung vor Wiederaufnahme des Flugdienstes und eine

andauernde gesundheitliche Überwachung mit dem SARS-CoV-2-Virus infizierter Piloten und Pilotinnen ist deshalb entscheidend [86, 87].

Das Ziel unserer Studie war es, Symptome und Krankheitsverläufe mit SARS-CoV-2 infizierter deutscher Militärpiloten und -pilotinnen zu beschreiben, ihre Genesung zu analysieren und generelle Empfehlungen für medizinische Untersuchungen von Piloten und Pilotinnen vor Wiederaufnahme des Flugdienstes nach überstandener COVID-19-Erkrankung bzw. SARS-CoV-2-Infektion zu erarbeiten [77].

Militärpiloten und -pilotinnen aller Teilstreitkräfte (Luftwaffe, Heer und Marine) und aller Flugzeugtypen (Jet, Flächenflugzeuge, Hubschrauber und Drohnen) wurden nach überstandener SARS-CoV-2-Infektion zwischen April 2020 und Januar 2022 vor Wiederaufnahme des Flugdienstes untersucht. Alle Untersuchungen wurden am Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe durchgeführt. Waffensystemoffiziere und -offizierinnen wurden für die Analyse der Jet-Piloten und -Pilotinnen zugerechnet, auch Pilotenanwärter*innen, die ihre fliegerische Ausbildung noch nicht begonnen hatten, wurden untersucht. Die Untersuchung zielte hauptsächlich auf pathologische Veränderungen an Lunge und Herz ab, je nach Symptomatik wurden auch andere Fachgebiete wie Hals-Nasen-Ohrenheilkunde oder Neurologie beteiligt. Die Standarduntersuchungen bestanden aus Anamnese, körperlicher Untersuchung, Labordiagnostik, 12-Kanal-EKG, Echokardiographie und Lungenfunktionsuntersuchung einschließlich Bodyplethysmographie und CO-Diffusionsmessung. Je nach medizinischer Indikation waren zusätzlich bildgebende Verfahren wie CT oder MRT geplant. Außerdem wurden Alter, BMI, Nikotingebrauch, die Symptomatik während der Erkrankung, Begleit- oder Vorerkrankungen, Allergien und durchgeführte Impfungen gegen SARS-CoV-2 registriert und mit eventuellen Post-COVID-Symptomen korreliert. Die statistische Analyse wurde mithilfe von IBM SPSS Statistics für Windows 24 (IBM Corp. Released 2016, Armonk, NY, USA) durchgeführt und war primär deskriptiv. Durch den Kolmogorov-Smirnov-Test wurde ermittelt, dass keiner der Parameter normalverteilt war, so dass Median und IQR bestimmt wurden. Zusammenhänge wurden mit dem Pearson-Chi-

Quadrat-Test, bei unabhängigen Stichproben mit dem Mann-Whitney-U-Test untersucht. Als Signifikanzniveau wurde $p < 0,05$ festgelegt. Außerdem wurden OR mit 95% CI bestimmt, um mögliche Prädiktoren für Langzeit-Symptome zu identifizieren.

Nach den Vorgaben der Bayerischen Landesärztekammer war ein Ethikvotum für diese retrospektive Analyse nicht erforderlich.

90 Piloten und Pilotinnen (82 aktive und 8 Anwärter*innen) mit bestätigter Infektion mit SARS-CoV-2 wurden vor Wiederaufnahme des Flugdienstes untersucht. 88 davon waren männlich. Das Alter lag zwischen 20 und 62 Jahren (Median 35 Jahre, IQR 15 Jahre). Der mittlere BMI lag bei 25 kg/m^2 (IQR $3,5 \text{ kg/m}^2$). Bei 88 Personen wurde die Infektion durch Polymerase-Kettenreaktion (PCR) bestätigt, in einem Fall durch Antigen-Schnelltest, in einem weiteren Fall gab es hierzu keine Angaben. 78/90 Piloten und Pilotinnen (87%) gaben Symptome an, aber nur in einem Fall (1%) war eine Krankenhausaufnahme erforderlich. In zwei Fällen (2%) wurde eine ambulante Behandlung benötigt. Am häufigsten (63%) wurde über grippale Symptome berichtet. Abbildung 16 gibt die Häufigkeiten der Symptome in Prozent- und absoluten Zahlen wieder.

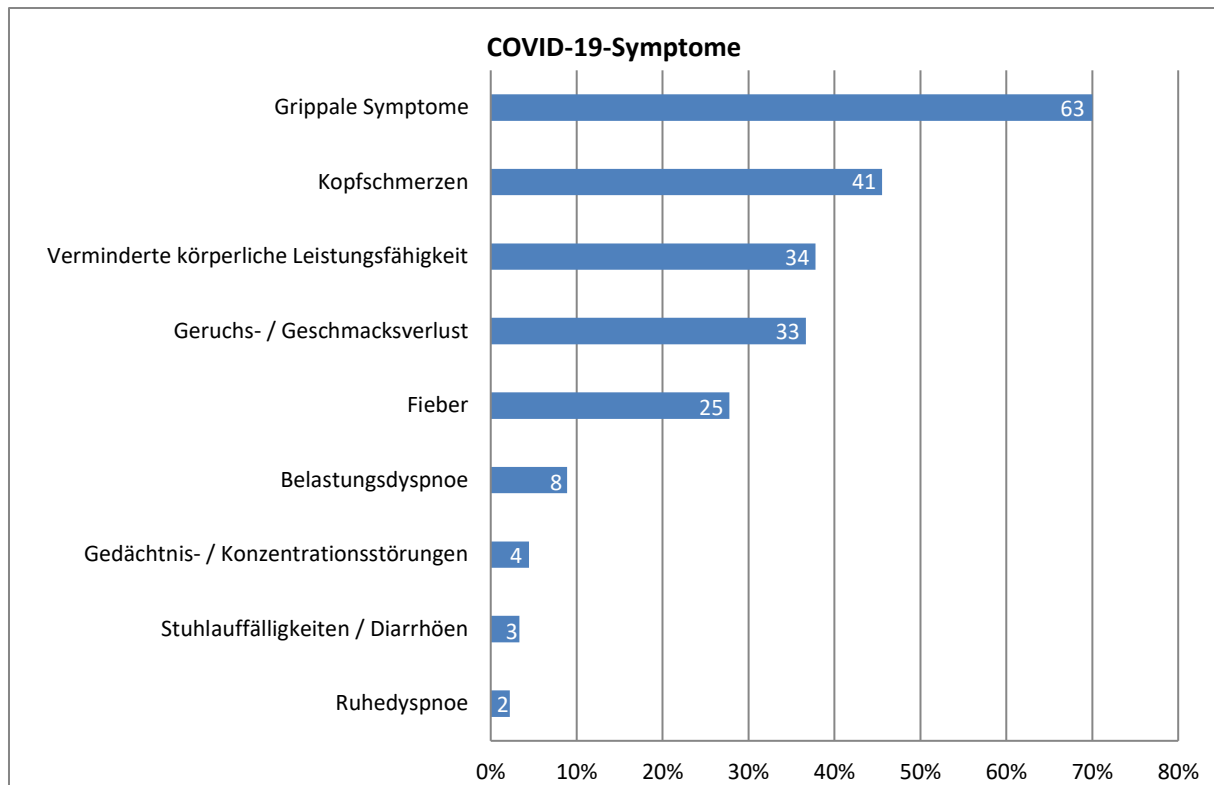


Abbildung 15: COVID-19-Symptome der 90 eingeschlossenen Piloten und Pilotinnen (82 aktive und 8 Anwärter*innen) in absoluten Zahlen und Prozentzahlen. Die Prozentzahlen sind auf der X-Achse dargestellt, die absoluten Zahlen sind in den Balken hinzugefügt (übersetzt aus [77]).

Die Dauer der Symptome betrug im Median 6 Tage (IQR 9 Tage, Maximum 270 Tage). Zum Zeitpunkt der Untersuchung, die im Median 85 Tage nach Symptombeginn stattfand, hatten acht (9%) der Piloten und Pilotinnen noch Symptome.

30 Piloten und Pilotinnen (33%) waren zum Zeitpunkt der Infektion mindestens einmal gegen SARS-CoV-2 geimpft, 60 (67%) dagegen nicht. Bei 17 der Geimpften wurde Comirnaty® von BioNTech (Mainz, Deutschland) verwendet, bei zehn Spikevax® von Moderna (Cambridge, MA, USA) und bei drei Janssen® von Johnson & Johnson (New Brunswick, NJ, USA).

Bei 53 von 90 (61%) der Piloten und Pilotinnen war keine Begleiterkrankung bekannt, 23 (26%) hatten bekannte Allergien, 2 (2%) Asthma bronchiale, 15 (17%) eine kardiovaskuläre Erkrankung und 8 (9%) Autoimmunerkrankungen einschließlich der Autoimmunthyreoiditis.

In den apparativen Untersuchungen gab es keine echokardiographischen Auffälligkeiten, die DLCO (Diffusing Capacity of the Lung for Carbon Monoxide) war in acht Fällen (9%) geringfügig unter 80% des vorausberechneten Wertes, jedoch ohne klinische Zeichen einer pulmonalen Beteiligung. Alle Piloten und Pilotinnen konnten nach der Untersuchung am Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe den Flugdienst wieder aufnehmen.

Allerdings hielten bei acht der Piloten und Pilotinnen noch Symptome über die letzte Untersuchung hinaus an, die im Median 148 Tage (Minimum 26 Tage, Maximum 314 Tage) nach dem positiven Testergebnis stattfand. Von allen infizierten Piloten und Pilotinnen wurde nach den NICE-Guidelines bei acht eine „Ongoing Symptomatic COVID-19“ (Symptome vier bis zwölf Wochen nach den initialen Symptomen) und bei weiteren sechs ein „Post-COVID19-Syndrom“ (Symptome mehr als zwölf Wochen nach den initialen Symptomen) diagnostiziert. Prädiktoren für solche Formen lang andauernder Erkrankungen konnten jedoch aus unserem Kollektiv nicht identifiziert werden. Tabelle 15 zeigt ORs für die Assoziation zwischen verschiedenen Symptomen und anderen Voraussetzungen und dem Andauern von Symptomen über den Untersuchungszeitraum hinaus.

Tabelle 15: Odds Ratios für die Assoziation zwischen verschiedenen Symptomen und Voraussetzungen und dem Anhalten der Symptome über den Untersuchungszeitraum hinaus. Keiner der aufgelisteten Faktoren war als Prädiktor für anhaltende Symptome und die mögliche Entwicklung eines „Post-COVID-19-Syndroms“ geeignet. OR = Odds Ratio; CI = Konfidenzintervall (übersetzt aus [77]).

Voraussetzung	OR (95% CI)
Symptombdauer über 7 Tage	1,56 (0,37 – 6,70)
Geruchs- und/oder Geschmacksverlust	1,04 (0,23 – 4,66)
Eingeschränkte körperliche Leistungsfähigkeit	1,73 (0,40 – 7,44)
Fieber	0,86 (0,16 – 4,55)
Belastungsdyspnoe	4,22 (0,70 – 25,63)
Kopfschmerzen	1,22 (0,29 – 5,20)
Allergien	1,86 (0,41 – 8,48)
Keine Begleiterkrankung	1,18 (0,26 – 5,28)
Raucher*in	2,63 (0,46 – 15,04)
Vorausgehende Impfung (SARS CoV-2)	1,22 (0,27 – 5,50)

Es fiel jedoch auf, dass bei keiner der Personen ohne grippale Symptome ihre Symptomatik über den Untersuchungszeitraum hinaus anhielt.

Schlussfolgerung:

Wegen der teilweise hohen physischen Belastungen militärischen fliegenden Personals sollte, wie auch in anderen Hochrisikoberufen, vor der Wiederaufnahme des Flugdienstes nach Infektion mit SARS-CoV-2 bzw. nach einer COVID-19-Erkrankung eine medizinische Untersuchung durchgeführt werden, um subklinische Erkrankungen oder protrahierte Verläufe weitestgehend auszuschließen. Art und Umfang der Untersuchung sollten dabei von Alter, Gesundheitszustand des/der Betroffenen, relevanten Risikofaktoren, der Symptomatik, der Virusvariante und dem Impfstatus abhängig gemacht werden.

3. Diskussion

Die Berufsgruppe der Piloten und Pilotinnen, andere Besatzungsmitglieder von Luftfahrzeugen und das Flugsicherungskontrollpersonal müssen regelmäßig medizinisch untersucht werden, um das Risiko einer Gefährdung der Flugsicherheit durch akute medizinische Ereignisse zu minimieren. Zivile Piloten und Pilotinnen werden in den meisten europäischen Staaten nach den Regularien der EU bzw. der EASA untersucht. Dies wird durch flugmedizinisch ausgebildete Ärzte und Ärztinnen durchgeführt, die über Lizenzen der lizensierenden Behörden verfügen müssen. Für fliegendes Personal ist das in Deutschland das LBA, für Flugsicherungskontrollpersonal das BFA. Flugmedizin ist als Zusatzbezeichnung in den Weiterbildungsordnungen der Länder verankert.

Obwohl Piloten und Pilotinnen vielleicht das bekannteste Beispiel regelmäßig medizinisch zu untersuchender Hochrisikoberufe sind, trifft dies auch für eine Reihe weiterer Tätigkeiten zu. Beispiele sind Feuerwehrleute, Berufskraftfahrer*innen, Polizisten/Polizistinnen, Berufstaucher*innen oder auch Arbeiter*innen auf Ölplattformen, bei denen eine schnelle medizinische Versorgung oft nicht möglich ist. Untersuchungsintervalle und Untersuchungsumfang sind in unterschiedlichen Bestimmungen, wie z. B. der Verordnung für die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr für Berufskraftfahrer*innen oder Triebfahrzeugführerscheinverordnung für Lokführer*innen, sowie Empfehlungen, wie z. B. Berufsgenossenschaftlicher Grundsatz G31 für Berufstaucher*innen, Berufsgenossenschaftlicher Grundsatz G26 für Träger*innen schwerer Atemschutzgeräte, festgelegt. Alle diese Berufe sind mit einem erhöhten Risiko einer Fremd- und/oder Eigengefährdung im Falle akuter gesundheitlicher Probleme verbunden. Das akzeptierte gesundheitliche Risiko wird dabei in der Regel entweder durch den Arbeitgeber oder die Arbeitgeberin oder durch eine Zulassungsbehörde definiert.

Besondere Beachtung bei solchen Untersuchungen findet das kardiovaskuläre System, weil akute kardiale Ereignisse wie ein akutes Koronarsyndrom oder eine anhaltende Arrhythmie

leicht zu einer plötzlichen Handlungsunfähigkeit, zumindest aber durch Symptome zur Ablenkung von der beruflichen Tätigkeit führen können. Die Herausforderung dieses ärztlichen Tätigkeitsbereiches, der auch als „Occupational Cardiology“ bezeichnet wird, liegt unter anderem darin, dass es zu solchen akuten kardiovaskulären Ereignissen bei ansonsten asymptomatischen Personen insbesondere jüngerer Alters wenig wissenschaftliche Daten gibt [88]. Bewerber*innen für solche Beschäftigungen sind oft jünger und gesünder als die Durchschnittsbevölkerung und auch jünger als die Populationen der meisten klinischen Studien. Werden ferner die in diesem Gebiet zu berücksichtigenden Interessen wie die Fürsorge gegenüber dem Arbeitnehmer bzw. der Arbeitnehmerin, die öffentliche Sicherheit und finanzielle Interessen des Arbeitgebers bzw. der Arbeitgeberin bedacht, so wären mehr robuste Daten für eine kardiovaskuläre Risikostratifizierung wünschenswert.

Der prinzipielle Ablauf einer kardiovaskulären Risikostratifizierung für solche Berufsgruppen ist einheitlich [88]. Zunächst muss der jeweilige Befund auf der Grundlage der aktuellen klinischen Leitlinien beurteilt werden. Danach müssen die Auswirkungen spezifischer beruflicher Belastungen auf die jeweilige Gesundheitsstörung betrachtet werden. Schließlich muss bedacht werden, welche Konsequenzen ein akutes kardiales Ereignis in der jeweiligen beruflichen Tätigkeit haben könnte. Bei dieser Risikoabwägung müssen sowohl die Durchführbarkeit der jeweiligen Arbeitsprozesse als auch die Gesundheit und Sicherheit des/der Betroffenen oder von ihm/ihr abhängiger Personen berücksichtigt werden. Weiterhin müssen neben der Gesundheitsstörung selbst auch mögliche Therapierisiken wie unerwünschte Wirkungen von Medikamenten in die Risikostratifizierung einfließen.

Bei all diesen Betrachtungen gibt es jedoch keine einheitliche Definition des akzeptierten Risikos. Wesentliche Unterschiede kann es nicht nur zwischen den verschiedenen Berufsgruppen geben, sondern auch zwischen verschiedenen Regulierungsbehörden oder international zwischen verschiedenen Kulturen. Deshalb werden klinische Empfehlungen oft als Konsensus-Empfehlungen auf der Basis von Expertenmeinungen gegeben. Der Arzt bzw. die Ärztin befindet sich dabei in einem Spannungsfeld zwischen Arbeitnehmer*in und

Arbeitgeber*in. Während die Arbeitnehmer*innen verständlicherweise schlagkräftige Begründungen für Entscheidungen fordern, die ihre berufliche Tätigkeit beenden oder einschränken können, sind die Arbeitgeber*innen immer mehr darauf bedacht, vermeidbare Risiken durch Gesundheitsstörungen zu minimieren, um ihren Ruf nicht zu schädigen und finanziellen Forderungen zu entgehen.

Während in dieser Arbeit nur die kardiovaskuläre Risikostratifizierung in Hochrisikoberufen behandelt wird, können berufliche Einflüsse auf das kardiovaskuläre System auch allgemeiner betrachtet werden. So kann es auch in anderen Berufen mit geringerem Risikopotential zu Einflüssen von chemischen oder biologischen Noxen, psychosozialen Stressoren, extremen Umgebungsbedingungen in Form von Temperaturen oder Luftfeuchtigkeit oder auch von Schichtarbeit auf das kardiovaskuläre System kommen [89]. Von manchen Kollegen und Kolleginnen wird deshalb die Schaffung einer kardiologischen Subspezialisierung „Occupational Cardiology“, also gewissermaßen einem arbeitsmedizinischen Zweig der Kardiologie, angeregt [90].

Welche Untersuchungen zum Screening in Hochrisikoberufen gehören sollten und in welchen Abständen sie durchgeführt werden sollten, wird nach wie vor diskutiert. Die häufigste apparative kardiologische Routineuntersuchung sowohl in der Flugmedizin als auch in anderen Hochrisikoberufen ist das 12-Kanal-Ruhe-EKG. Diese Untersuchung wird gut toleriert, ist breit verfügbar, leicht durchzuführen und kostengünstig. Aber bereits bei dieser Untersuchung besteht die Herausforderung, Zeichen kardialer Erkrankungen von falsch-positiven Befunden abzugrenzen, die bei jungen und asymptomatischen Probanden und Probandinnen die weitere Karriere beeinträchtigen könnten. Auf der anderen Seite sind auch falsch negative Befunde denkbar, wenn kardiale Erkrankungen keine EKG-Veränderungen verursachen. Die Vorschriften für die Durchführung von Screening-EKGs sind zwischen den lizensierenden Behörden verschiedener Staaten unterschiedlich. Die EU verlangt bei der Untersuchung von Berufspiloten und -pilotinnen Ruhe-EKGs bei der Erstuntersuchung, dann alle fünf Jahre bis zum Alter von 30 Jahren, alle zwei Jahre bis zum Alter von 40 Jahren,

jährlich bis zum Alter von 50 Jahren und danach bei jeder weiteren Untersuchung. Für Privatpiloten und -pilotinnen sind Ruhe-EKGs bei der Erstuntersuchung, bei der ersten Untersuchung nach Vollendung des 40. Lebensjahres, bei der ersten Untersuchung nach Vollendung des 50. Lebensjahres und danach alle zwei Jahre vorgeschrieben [12]. Die amerikanische FAA dagegen schreibt Screening-EKGs für Airline-Piloten und -Pilotinnen bei der ersten Untersuchung nach Vollendung des 35. Lebensjahres und jährlich nach Vollendung des 40. Lebensjahres vor. Von anderen Berufs- und Privatpiloten und -pilotinnen werden Screening-EKGs ohne medizinische Indikation gar nicht gefordert [16].

Die meisten Daten zu Kollektiven mit niedrigem Durchschnittsalter und ohne klinische Auffälligkeiten, wie sie auch in Hochrisikoberufen einen großen Anteil der Probanden und Probandinnen bilden, wurden auf dem Gebiet der Sportkardiologie publiziert, wo es um das Screening von Athleten und Athletinnen geht [91]. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass manche EKG-Veränderungen durch intensives Training verursacht werden, wobei von Sharma et al. mindestens vier Stunden pro Woche als Maß angegeben werden [91]. Das Korrelat dieser Veränderungen sind häufig eine leichte Vergrößerung der Herzkammern, eine leichte linksventrikuläre Hypertrophie und ein erhöhter Vagustonus als Folge des Trainings. Solche Trainingseffekte kann man aber nur für einen Teil des fliegenden Personals oder anderer Berufsgruppen annehmen, so dass die Anamnese hinsichtlich körperlicher Betätigung für die EKG-Interpretation von entscheidender Wichtigkeit ist. Eine Metaanalyse zur Effektivität von Screening-EKGs von etwa 47.000 Sportlern hat gezeigt, dass das EKG etwa fünfmal so sensitiv ist wie die Anamnese und etwa zehnmal so sensitiv wie die körperliche Untersuchung [92]. Auf der anderen Seite haben aber bisher nur wenige Studien einen Überlebensvorteil durch das Screening-EKG in der Sportkardiologie gezeigt [93].

Bei einer retrospektiven Auswertung von Screening-EKGs, die bei Erstbewerbern und Erstbewerberinnen für den fliegerischen Dienst der Bundeswehr abgeleitet wurden, ergab sich ein sehr geringer Prozentsatz von 0,21% bei Piloten und Pilotinnen bzw. 0,25% bei anderen Besatzungsangehörigen, die weitere Untersuchungen erforderlich machten [28]. Nur eins

dieser EKGs führte zur Untauglichkeit. Auch bei aktivem fliegendem Personal war der Anteil der EKG-Befunde, die weitere Untersuchungen erforderten oder sogar zur Untauglichkeit führten, sehr gering. Eine Änderung von normalen zu auffälligen EKGs wurde in 0,6% der Personen beobachtet, in nur zwei Fällen führten die EKG-Veränderungen zu einem Verlust der Flugtauglichkeit. Auch andere Studien zeigten einen geringen Anteil auffälliger Screening-EKGs, der jedoch meistens etwas höher lag. So wurden in zwei anderen Arbeiten auffällige Screening-EKGs bei jungen vermeintlich gesunden Probanden und Probandinnen in 0,6 bis 7,0% beobachtet [94, 95]. Der besonders niedrige Anteil an EKG-Auffälligkeiten in unserem Kollektiv kann hierbei an einer gewissen Präselektionierung der Probanden und Probandinnen gelegen haben. Bewerber*innen für den fliegerischen Dienst müssen zuvor eine Musterungsuntersuchung durchlaufen, die zwar kein EKG, aber Anamnese und körperliche Untersuchung umfasst. Dabei könnten Bewerber*innen mit Hinweisen auf eine Herzerkrankung bereits ausgeschlossen worden sein. Beim aktiven fliegenden Personal kann man von einem hohen Gesundheitsbewusstsein ausgehen, das unter anderem durch die regelmäßige medizinische Überwachung hervorgerufen wird. Ähnliche Effekte können aber auch in anderen Studien mit vergleichbaren Kollektiven eine Rolle gespielt haben. Unsere Daten legen nahe, dass ein Screening-EKG bei Bewerbern und Bewerberinnen für Berufe mit niedriger Risikotoleranz, wie etwa bei Piloten und Pilotinnen, sinnvoll erscheint. Screening-EKGs im weiteren Verlauf erscheinen jedoch erst ab einem gewissen Alter, z. B. ab 40 Jahre, und dann in kleiner werdenden Zeitabständen von zunächst mehreren Jahren nutzbringend zu sein. Die Durchführung jährlicher Screening-EKGs bereits bei jungen Probanden wird dagegen von unseren Daten nicht unterstützt.

Das Belastungs-EKG wird nicht in jedem Fall zum Screening von fliegendem Personal und anderer Hochrisikoberufe eingesetzt. Es wird zum Beispiel in den zivilen flugmedizinischen Vorschriften der EU und der EASA nur indikationsbezogen durchgeführt [12, 14]. Der routinemäßige Einsatz des Belastungs-EKG bei Erst- und Nachuntersuchungen von fliegendem Personal der Bundeswehr erlaubte eine retrospektive Analyse der Daten. Sinn der

Durchführung dieser Untersuchung ist zum einen eine Beurteilung der kardiozirkulatorischen Leistungsfähigkeit, zum anderen aber auch die Diagnose kardialer Erkrankungen, in höherem Alter vor allem der KHK. Auch in anderen Berufsgruppen wie bei Feuerwehrleuten mit schweren Atemschutzgeräten ist das Belastungs-EKG obligatorisch. Da diese Untersuchung jedoch deutlich aufwendiger ist als ein Ruhe-EKG und einer komplexen Auswertung bedarf, die die Parameter EKG, Herzschlagfrequenz, Blutdruck und maximale Belastbarkeit einschließen sollte, stellt sich die Frage, in welchen Fällen und wie oft sie durchgeführt werden sollte. Falsch positive Befunde, die eine kostspielige und zeitaufwendige weitere Diagnostik nach sich ziehen würden, können bereits bei jungen Leuten auftreten und sollten vermieden werden. Trotz der bekannten Schwächen des Belastungs-EKGs in der KHK-Diagnostik durch eine eingeschränkte Sensitivität und Spezifität insbesondere bei jüngeren Leuten mit geringer Vortestwahrscheinlichkeit kann das Belastungs-EKG wertvolle Hinweise für die Beurteilung des Blutdruckverhaltens unter Belastung, belastungsinduzierter Arrhythmien und Schenkelblockbilder und der aeroben Leistungsfähigkeit geben [96-98]. Ein überschießender Anstieg der Herzschlagfrequenz unter Belastung kann ebenso wie eine eingeschränkte Pulserholungszeit nach Ende der Belastung auf einen Trainingsmangel oder eine nicht diagnostizierte Erkrankung hinweisen, obwohl beides mit großer Vorsicht interpretiert werden muss [99, 100].

Unsere retrospektive Analyse von bei der Erstuntersuchung fliegenden Personals durchgeführten Belastungs-EKGs zeigte eine sehr geringe Anzahl von Befunden, die eine weiterführende Diagnostik ausgelöst oder sogar zu einer Disqualifizierung der Bewerber*innen geführt hätten. Auch in der Längsschnittanalyse gab es nur zwei Personen im Alter von 35,8 und 46,7 Jahren, bei denen aufgrund einer ST-Senkung eine KHK diagnostiziert wurde und denen schließlich die Flugtauglichkeit entzogen wurde [33].

Eine Analyse der FAA medizinischer Zwischenfälle bei Piloten und Pilotinnen im Flug zwischen 1993 und 1998 hat zudem gezeigt, dass die Ereignisrate nur 0,058 in 100.000 Flugstunden betrug. Die Untersuchungspraxis in den USA sieht kein routinemäßiges Belastungs-EKG ohne

medizinische Indikation vor. Von 50 medizinischen Zwischenfällen führten nur zwei zu einem Flugzeugunfall [1]. Zu ähnlich niedrigen Zahlen kommt auch eine Untersuchung des Australian Transport Safety Bureau (ATSB), das Unfälle und Zwischenfälle im Zeitraum von 1975 bis 2006 untersuchte [2]. Bei zehn Unfällen mit Todesfolge, die alle Flüge mit einem einzigen Piloten oder einer einzigen Pilotin betrafen, war die Hälfte durch kardiovaskuläre Ereignisse bedingt. Ein tödlicher Unfall betraf einen kommerziellen Charterflug. Diese Daten zeigen, dass das kardiovaskuläre System zwar für die Risikostratifizierung eine bedeutende Rolle spielt, dass tödliche Flugunfälle infolge kardiovaskulärer Ereignisse aber selten sind. Das Risiko kann durch eine strikte Anwendung von Doppelsteuerauflagen im Falle eines erhöhten kardiovaskulären Risikos minimiert werden.

Unsere Daten legen demnach nahe, dass auch bei militärischen Erstuntersuchungen auf Flugtauglichkeit ein Ruhe-EKG in Verbindung mit Anamnese und körperlicher Untersuchung ausreichend ist und ein Belastungs-EKG keine wesentlichen Vorteile bringt. Zusätzlich kann ein Fitness-Test zur Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit durch den Arbeitgeber oder die Arbeitgeberin durchgeführt werden, wie das bei der Feuerwehr und in den Streitkräften vieler Länder bereits üblich ist. Auch die geringe Anzahl abklärungsbedürftiger Befunde in der Längsschnittuntersuchung legt eine Beschränkung von Belastungs-EKGs auf Fälle mit klinischer Indikation nahe.

Die KHK, auf deren frühe Erkennung die Durchführung eines Belastungs-EKGs insbesondere im Alter über 40 Jahre primär abzielen würde, ist in der Flugmedizin und auch in anderen Hochrisikoberufen eine sehr wichtige Erkrankung, weil sie ohne Vorwarnung zu akuten kardialen Ereignissen bis hin zum plötzlichen Herztod führen kann. Wie wir heute wissen, ereignet sich die Mehrzahl der akuten Koronarsyndrome durch die Ruptur instabiler atherosklerotischer Plaques mit dünner fibröser Kapsel. Ein Thrombus an der Rupturstelle führt dann zum Gefäßverschluss. Da viele dieser Plaques vor der Ruptur zu Stenosen führen, die gering- bis mittelgradig sind und keinerlei hämodynamische Relevanz besitzen, würden sie einer funktionellen Testung zum Nachweis einer Belastungsischämie entgehen. Zum primären

Screening wird deshalb häufig der Gebrauch eines Risiko-Kalkulators zur Quantifizierung des kardiovaskulären Risikos in Verbindung mit einem Ruhe-EKG empfohlen. Bei hohem Risiko werden weitere Untersuchungen angeschlossen. Dabei hat das Koronar-CT als morphologische Untersuchung einen zunehmenden Stellenwert, weil es neben Aussagen über die gesamte Plaquelast zunehmend auch Informationen über die Plaque-Morphologie liefern kann. Die Durchführung einer CT-Diagnostik wird zwar allgemein bei asymptomatischen Personen eher kritisch gesehen, zur kardialen Risikostratifizierung bei Hochrisikoberufen hat sie aber sicher einen Stellenwert. Bei einer hohen Wahrscheinlichkeit hämodynamisch relevanter Stenosen ist die invasive Koronarangiographie dem CT jedoch vorzuziehen.

Bei Piloten und Pilotinnen der Bundeswehr wurde das kardiovaskuläre Risikoprofil während zweier Dreijahreszeiträume, von 2007 bis 2009 und von 2016 bis 2018 untersucht. Als Risiko-Kalkulator wurde hier der PROCAM-Score benutzt. Es zeigte sich zum einen, dass das kardiovaskuläre Risiko im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung niedriger war, zum anderen verringerte sich die Anzahl der Piloten, während das Durchschnittsalter und mehrere Risikofaktoren anstiegen. Lediglich der Raucherstatus hatte sich verbessert. Das niedrigere kardiovaskuläre Risiko der Piloten und Pilotinnen im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung kann mit der regelmäßigen Gesundheitsaufklärung durch die Fliegerärzte und -ärztinnen und die regelmäßigen medizinischen Untersuchungen erklärt werden. Außerdem kann bei vielen Soldaten und Soldatinnen eine gewisse Disziplin hinsichtlich des Lebensstils angenommen werden. Der sozioökonomische Status bei Piloten und Pilotinnen ist vergleichsweise hoch. Zusätzlich kann auch ein Bias durch den „Healthy Worker Effect“ entstanden sein [101]. Die gesunkene Anzahl und das gestiegene Durchschnittsalter der Piloten und Pilotinnen im Vergleich der beiden Betrachtungszeiträume sind durch die Reduktion und Transformation innerhalb der Bundeswehr zu erklären. Viele Standorte wurden geschlossen, einige fliegende Verbände wurden aufgelöst, und die Anzahl der Luftfahrzeuge wurde reduziert. Deshalb und wegen des bis zur Corona-Pandemie gestiegenen Bedarfs an Piloten und Pilotinnen auf dem zivilen Arbeitsmarkt haben viele jüngere Piloten und Pilotinnen die Bundeswehr verlassen,

während ältere weniger motiviert waren, noch den Arbeitgeber bzw. die Arbeitgeberin zu wechseln. Diese Zunahme des kardiovaskulären Risikoprofils allein durch ein höheres Durchschnittsalter erhöht die Herausforderungen an den fliegerärztlichen Dienst der Bundeswehr. Andere Nationen haben hier ähnliche Beobachtungen gemacht, wie eine Studie der ungarischen Streitkräfte zeigt [50].

Eine weitere wichtige Gruppe von Gesundheitsstörungen bei der Frage der gesundheitlichen Eignung für den fliegerischen Dienst oder andere Hochrisikoberufe sind Arrhythmien sowie kardiale Reizbildungs- und Reizleitungsstörungen. Es handelt sich hier um eine Vielzahl einzelner Befunde, deren prognostische Bedeutung zunächst oft unklar ist und die ein häufiger Grund für weitere Untersuchungen oder sogar für den Verlust der Tauglichkeit darstellen. Auch solche elektrophysiologischen Störungen können durch besondere berufliche Belastungen wie zum Beispiel hohe G-Kräfte bei fliegendem Personal getriggert werden und sich deshalb bei der Untersuchung am Boden bzw. unter Ruhebedingungen ganz anders verhalten als unter Belastungsbedingungen. So ist zum Beispiel seit langem bekannt, dass hohe G-Kräfte bei Piloten und Pilotinnen durch eine Elongation des Herzens, eine veränderte Hämodynamik und Einflüsse auf das vegetative Nervensystem bereits physiologisch zu Arrhythmien führen, die bei entsprechenden elektrophysiologischen Substraten noch aggraviert werden können [102]. Entscheidend für die Prognose elektrophysiologischer Störungen ist auch, ob ihnen eine strukturelle kardiale oder nicht-kardiale Erkrankung zugrunde liegt, die ggf. therapiert werden muss und/oder bereits für sich eine Tauglichkeit ausschließt oder einschränkt.

Viele tachykarde Herzrhythmusstörungen können heute effektiv durch eine Katheterablation therapiert werden. Neben den langfristig häufig besseren Erfolgsquoten hat die Ablation gegenüber einer medikamentösen antiarrhythmischen Therapie den Vorteil fehlender unerwünschter Wirkungen durch die Medikamente, die häufig selbst die Flugtauglichkeit einschränken. Nach einer gewissen Beobachtungszeit und meist temporär mit Einschränkungen in Form einer Doppelsteuerauflage ist nach erfolgreicher Katheterablation die Rückkehr in den Flugdienst in den meisten Fällen möglich. In den zivilen Vorschriften der

EASA werden Ablationen hier jedoch weitgehend pauschal gehandhabt, ohne zwischen verschiedenen Techniken und den zugrundeliegenden Arrhythmien zu differenzieren [14, 58].

In unserem Kollektiv war die am häufigsten abladierte Arrhythmie die AV-Knoten-Reentrytachykardie (AVNRT). Rezidive gab es in keinem der Fälle, was auch mit der publizierten Literatur übereinstimmt [55]. Feldman et al. berichteten eine Erfolgsrate der AVNRT von 98,1% und eine Rezidivrate von lediglich 1,5% [103]. Eine Wiederaufnahme des Flugdienstes scheint deshalb bei dieser Arrhythmie nach einer Beobachtungszeit von drei bis vier Monaten sogar ohne Einschränkung möglich. Dies wäre insbesondere für Jet-Piloten und -Pilotinnen wichtig, für die ein Fliegen mit Doppelsteuerauflage nicht möglich ist. Eine operationelle Testung in der Humanzentrifuge ohne Induktion einer Arrhythmie durch die Beschleunigungskräfte kann dabei zusätzliche Sicherheit bieten.

Bei einem Wolff-Parkinson-White (WPW)-Syndrom mit AV-Reentry-Tachykardie besteht eine klare Ablationsindikation. In asymptomatischen Fällen mit ventrikulärer Präexzitation muss nach den Vorschriften der EASA bei Erstuntersuchungen von Berufspiloten und -pilotinnen eine invasive elektrophysiologische Risikostratifizierung durchgeführt werden [14], weil durch zwei Mechanismen eine plötzliche Handlungsunfähigkeit während des Fluges droht. Zum einen kann eine AV-Reentrytachykardie auftreten, zum anderen können im Falle eines Auftretens von Vorhofflimmern die atrialen Erregungen über die antegrad leitende akzessorische Leitungsbahn mit hoher Frequenz zu den Ventrikeln geleitet werden und dort im Extremfall Kammerflimmern auslösen. In Fällen mit hohem Risiko wie bei gut leitenden Bahnen (effektive Refraktärzeit ≤ 300 ms), mehreren Leitungsbahnen oder induzierbaren Tachykardien muss deshalb eine Katheterablation erfolgen, um die Flugtauglichkeit zu gewährleisten [104]. Bei Nachuntersuchungen kann alternativ zur Ablation auch eine Doppelsteuerauflage vergeben werden.

Da auch akzessorische Leitungsbahnen mit hoher Sicherheit abladiert werden können, erscheint bei asymptomatischen ventrikulären Präexzitationen eine Wiederaufnahme des

Flugdienstes nach drei bis vier Monaten ohne Einschränkung möglich. Ein langfristiger Ablationserfolg kann hier meist durch das Fehlen der Deltawelle im Ruhe-EKG sichergestellt werden. Intermittierend auftretende Deltawellen weisen in der Regel auf schlechte Leitungskapazitäten der akzessorischen Leitungsbahn und somit auf eine geringe Gefahr bei einem Auftreten von Vorhofflimmern hin. Nach der Ablation symptomatischer Fälle mit AV-Reentry-Tachykardie kann insbesondere bei verborgenen WPW-Syndromen ohne Deltawelle eine zeitlich begrenzte Doppelsteuerauflage notwendig sein. Alternativ sehen die EASA-Vorschriften, wie auch nach anderen Ablationen, eine zweite elektrophysiologische Untersuchung nach mindestens zwei Monaten zur Sicherung des Ablationserfolges vor [14].

Nach der Ablation fokaler atrialer Tachykardie kann die Langzeit-Erfolgsrate zwischen 75% und 100% schwanken [105, 106]. Deshalb ist in der Regel eine Doppelsteuerauflage von mindestens einem Jahr erforderlich. Typisches Vorhofflattern ist zwar durch eine Ablation des cavotrikuspidalen Isthmus mit Rezidivraten unter 10% therapierbar, ist aber häufig mit Vorhofflimmern assoziiert [107], weshalb auch hier meist eine Doppelsteuerauflage erforderlich ist. Letzteres gilt auch für atypisches Vorhofflattern.

Nach einer Ablation von Vorhofflimmern treten häufig Rezidive auf, zum Teil erst Jahre nach der primären Ablation [108, 109]. Mehrere Ablationsprozeduren sind häufig notwendig. Eine Doppelsteuerauflage ist hier meist unumgänglich, häufig muss sie dauerhaft vergeben werden.

Flugmedizinische Tauglichkeitsentscheidungen und Entscheidungen über Art und Dauer von Einschränkungen sind also sehr von der abladierten Arrhythmie, der Ablationstechnik und der Symptomatik vor der Ablation abhängig und können nicht pauschal getroffen werden. Ein grundlegendes Verständnis verschiedener Arrhythmien, Ablationstechniken und deren Langzeiterfolgsquoten sind deshalb für den AME und die lizensierende Behörde wichtig. Zudem ist eine enge Kooperation mit dem behandelnden Elektrophysiologen unerlässlich.

Herzrhythmusstörungen können in Einzelfällen auch durch die Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln und Energy Drinks ausgelöst werden. Nahrungsergänzungsmittel

können in manchen Fällen medizinisch sinnvoll und indiziert sein. Die Einnahme sollte dann mit dem zuständigen Fliegerarzt bzw. der zuständigen Fliegerärztin abgestimmt werden. In vielen Fällen können solche Substanzen, die zum Teil ohne Wissen des zuständigen ärztlichen Personals im Internet, im Supermarkt oder aus anderen Quellen bezogen werden, aber auch schädigende Einflüsse haben, zumal einzelne Substanzen mit androgenen oder anabolen Mitteln sowie Prohormonen verunreinigt sein können [72-74]. Bei der von uns durchgeführten Online-Befragung von Piloten und Pilotinnen in allen fliegenden Verbänden der Bundeswehr gaben unter den Rückläufern durchschnittlich 34% an, regelmäßig Nahrungsergänzungsmittel einzunehmen, 16% nahmen regelmäßig Energy Drinks zu sich. Das liegt etwas unterhalb bisher publizierter Werte für militärisches Personal und ist etwa mit der Allgemeinbevölkerung vergleichbar [64, 65, 68]. Durch die Befragung wurden die fliegenden Verbände aller Teilstreitkräfte (Heer, Luftwaffe und Marine) sowie Piloten und Pilotinnen aller Flugzeugtypen erreicht.

Obwohl die Befragung anonym und freiwillig war, kann nicht ausgeschlossen werden, dass Piloten und Pilotinnen, die regelmäßig solche Substanzen einnehmen, nicht teilgenommen haben, weil sie persönliche Nachteile befürchtet haben, und deshalb in den Ergebnissen unterrepräsentiert waren. Trotzdem wird aber aus dem Einnahmeverhalten, den angegebenen Gründen für die Einnahme und den Bezugsquellen der Substanzen deutlich, dass ein dringender Bedarf besteht, Piloten und Pilotinnen über die Vor- und Nachteile von Nahrungsergänzungsmitteln und Energy Drinks zu informieren. Weitere Studien sollten sich deshalb auch auf interventionelle Aspekte zur Reduktion des Gebrauchs solcher Substanzen fokussieren. Eine Erörterung mit dem zuständigen Fliegerarzt oder der zuständigen Fliegerärztin vor der Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln und Energy Drinks ist unbedingt zu empfehlen.

Für die kardiovaskuläre Risikostratifizierung von Piloten und Pilotinnen und anderen Hochrisikoberufen ist zu Beginn des Jahres 2020 ein weiterer Aspekt hinzugekommen. Genau wie alle Teile der Bevölkerung sind auch solche Berufe von Infektionen mit SARS-CoV-2 und

Symptomen von COVID-19 betroffen. Dabei sind ebenso subklinische Verläufe denkbar, die bei hohen physischen Belastungen manifest werden, wie auch protrahierte Verläufe, die als „Post-Acute COVID-19“ (vier Wochen bis drei Monate nach Symptombeginn) oder Post-COVID-19-Syndrom (mehr als drei Monate nach Symptombeginn) bezeichnet werden [110]. Wegen der teilweise hohen physischen Belastungen von Piloten und Pilotinnen während des Fluges und der potenziell katastrophalen Auswirkungen medizinisch bedingter Handlungsunfähigkeiten während des Fluges ist das Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe dazu übergegangen, alle Piloten und Pilotinnen nach SARS-CoV-2-Infektion und Genesung vor der Wiederaufnahme des Flugdienstes medizinisch zu untersuchen [77]. In dieser Arbeit wurden Daten von 90 Personen, die im Zeitraum zwischen April 2020 und Januar 2022 untersucht wurden, ausgewertet. In diesem Kollektiv war nur in einem Fall eine Krankenhausaufnahme und in zwei Fällen eine ambulante ärztliche Behandlung erforderlich. In acht Fällen persistierten leichte Symptome über die Untersuchung hinaus. Die Flugfreigabe konnte aber trotzdem allen untersuchten Piloten und Pilotinnen erteilt werden.

Zu berücksichtigen ist, dass in den untersuchten Fällen die Delta-Variante dominant war und dass nur ein Drittel der untersuchten Personen bereits gegen SARS-CoV-2 geimpft worden war. Die trotzdem durchweg milden Krankheitsverläufe sind wahrscheinlich durch den guten Gesundheitszustand, das geringe Durchschnittsalter und das weitgehende Fehlen von Risikofaktoren für schwere Krankheitsverläufe zu erklären.

Inzwischen sind fast alle Piloten und Pilotinnen mehrfach geimpft, und Omikron hat sich zur dominierenden Variante entwickelt. Sie hat ein höheres Ansteckungspotenzial im Vergleich zur Delta-Variante, was phasenweise wesentlich höhere Fallzahlen zur Folge hatte. Die klinischen Verläufe werden als milder beschrieben, wobei hier aber auch die zwischenzeitlich bessere Durchimpfungsrate eine Rolle spielen kann. Deshalb wurde inzwischen die Untersuchung nach Genesung und das Erteilen der Flugfreigabe vom Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe primär an die örtlichen Fliegerärzte und Fliegerärztinnen delegiert. Das Untersuchungsprogramm wurde routinemäßig auf Anamnese, körperliche

Untersuchung, EKG und Spirometrie begrenzt, wobei indikationsbezogene Ergänzungen vorgesehen sind. Das Untersuchungsprogramm sollte an Faktoren wie Alter, Gesundheit und Risikostatus der betreffenden Person, Art und Schwere der Symptome, Virusvariante, Impfstatus und Art des geflogenen Luftfahrzeugs angepasst werden.

4. Zusammenfassende Darstellung

Fliegendes Personal und Beschäftigte in anderen Hochrisikoberufen müssen in der Regel vor Beginn der Berufstätigkeit eine medizinische Untersuchung durchlaufen und während ihrer Karriere regelmäßig gesundheitlich überwacht werden. Die wissenschaftliche Evidenz hinsichtlich erforderlicher Untersuchungsverfahren, der empfohlenen Häufigkeit ihrer Durchführung sowie der flugmedizinischen Bewertung von Befunden und Gesundheitsstörungen ist jedoch im Vergleich zu anderen Forschungsfeldern begrenzt.

Das einzige in allen flugmedizinischen Vorschriften und in vielen anderen Berufen für kardiovaskuläre Untersuchungen geforderte Routine-Verfahren ist das 12-Kanal-Ruhe-EKG. Die retrospektive Analyse von EKG-Befunden aus dem eigenen Kollektiv ergab jedoch, dass dieses Verfahren nur in sehr wenigen Fällen zu pathologischen Befunden führt, die das Begutachtungsergebnis beeinflussen oder zur Untauglichkeit führen. Screening-EKGs für Erstbewerber*innen erscheinen deshalb gerechtfertigt. Regelmäßige EKGs im Rahmen von Nachuntersuchungen sollten danach aber allenfalls vereinzelt und erst in höherem Alter wieder in kürzeren Abständen (z. B. jährlich) durchgeführt werden.

In der militärischen Fliegerei und in anderen Berufen wie bei der Feuerwehr für das Tragen schwerer Atemschutzgeräte wird in Deutschland auch ein Belastungs-EKG gefordert. Es kann Hinweise auf die körperliche Leistungsfähigkeit von Probanden geben und zur Erkennung bisher nicht diagnostizierter kardialer Erkrankungen beitragen. Die im Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe durchgeführten Belastungs-EKGs zum Screening von Piloten und Pilotinnen ergaben aber nur ganz vereinzelt Befunde, die eine weitere diagnostische Abklärung notwendig machten oder sogar zur Untauglichkeit führten. Dieser Befund würde dafürsprechen, Belastungs-EKGs nur noch indikationsbezogen durchzuführen, wie dies zum Beispiel in den zivilen europäischen Flugtauglichkeitsrichtlinien vorgesehen ist. Die kardiopulmonale Belastbarkeit jüngerer Bewerber und Bewerberinnen könnte auch im Rahmen von Fitness-Tests bewertet werden.

Eine für die Fliegerei und andere Hochrisikoberufe gefährliche Erkrankung ist die KHK, weil sie ohne vorherige Warnsymptome durch ein akutes Koronarsyndrom zur plötzlichen Handlungsunfähigkeit oder sogar zum plötzlichen Herztod führen kann. Eine Beurteilung des kardiovaskulären Risikoprofils gehört deshalb insbesondere im Alter von über 40 Jahren zu jeder Untersuchung solchen Personals. Bei den Piloten und Pilotinnen der Bundeswehr hat sich das Durchschnittsalter in den letzten Jahrzehnten erhöht, womit sich auch mehrere kardiovaskuläre Risikofaktoren nachteilig entwickelt haben. Die Anzahl der Raucher ist gesunken. Insgesamt ist das kardiovaskuläre Risikoprofil deutscher Militärpiloten und -pilotinnen günstiger als in der Allgemeinbevölkerung.

Eine zweite Gruppe kardialer Befunde bzw. Erkrankungen, die die Flugtauglichkeit infrage stellen kann, sind Arrhythmien, die auch in gesunden und medizinisch vorselektionierten Personengruppen auftreten können. Tachykarde Arrhythmien können häufig durch eine Katheterablation behandelt werden, wonach in unserem Kollektiv eine Wiederaufnahme des Flugdienstes fast in jedem Fall möglich war, teilweise allerdings mit Einschränkungen. Die flugmedizinischen Entscheidungen hängen von der ablatierten Arrhythmie, der Ablationstechnik und deren Langzeiterfolgswahrscheinlichkeiten sowie der Symptomatik vor der Ablation ab. Ein grundlegendes Verständnis dieser Zusammenhänge ist deshalb für den AME ebenso wichtig wie eine enge Kooperation mit dem behandelnden Elektrophysiologen.

Nahrungsergänzungsmittel und Energy Drinks werden von deutschen Militärpiloten und -pilotinnen teilweise selbst beschafft und ohne Wissen des zuständigen Fliegerarztes bzw. der Fliegerärztin eingenommen. Bei einer Online-Befragung dieses Kollektivs zeigte sich eine mit der Allgemeinbevölkerung vergleichbare Einnahmehäufigkeit. Die in dieser Befragung genannten Substanzen, die Motivation für die Einnahme und die Bezugsquellen offenbarten jedoch den dringenden Bedarf einer Aufklärung über Nutzen und Risiken solcher Substanzen. Eine geplante Einnahme sollte auf jeden Fall mit dem zuständigen Fliegerarzt bzw. der zuständigen Fliegerärztin erörtert werden.

Nach einer Infektion mit SARS-CoV-2 bzw. COVID-19 sollte vor Wiederaufnahme des Flugdienstes eine medizinische Untersuchung durchgeführt werden. Im eigenen Pilotenkollektiv war die Rückkehr zum Flugdienst in jedem Fall möglich, es handelte sich durchweg um milde Verläufe. Art und Umfang der Untersuchung sollten von Alter und Gesundheitszustand des/der Betroffenen, möglichen Risikofaktoren für schwere Verläufe, der Symptomatik, der Virusvariante, vom Impfstatus und vom geflogenen Flugzeugtyp abhängig gemacht werden.

5. Abkürzungsverzeichnis

AeMC	Aeromedical Center
AFib	Atrial Fibrillation
AFlut	Atrial Flutter
ALB	Akzessorische Leitungsbahn
AME	Aeromedical Examiner <i>oder</i> Aviation Medical Examiner
AT	Atriale Tachykardie
AV	Atrioventrikulär
ATCO	Air Traffic Controller
AVNRT	AV-Knoten-Reentrytachykardie
AVRT	AV-Reentrytachykardie
BAF	Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung
BMI	Body Mass Index
CAA	Civil Aviation Authority
CI	Confidence Interval
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease
COVID-19	Coronavirus Disease 2019
CT	Computertomographie
EASA	European (Union) Aviation Safety Agency
EKG	Elektrokardiogramm
EU	European Union
FAA	Federal Aviation Administration
G Force	Gravitational Force
HDL	High Density Lipoprotein
HFM	Human Factors and Medicine
HRR	Heart Rate Recovery

HZV	Humanzentrifuge
ICAO	International Civil Aviation Organisation
ISARPS	International Standards and Recommended Practices
KHK	Koronare Herzkrankheit
LAPL	Light Aircraft Pilot License
LBA	Luftfahrtbundesamt
LDL	Low Density Lipoprotein
LOC	Loss of Consciousness
MRT	Magnetresonanztomographie
NATO	North Atlantic Treaty Organization
OR	Odds Ratio
PPB	Positive Pressure Breathing
RTG	Research Task Group
SARS-CoV-2	Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus Type 2
SVES	Supraventrikuläre Extrasystole
VES	Ventrikuläre Extrasystole

6. Der Habilitationsschrift zugrundeliegende Publikationen

1. **Guettler N**, Sammito S. Electrocardiographic abnormalities in medically screened German military aircrew. *J Occup Med Toxicol* 2021; 16:37.
2. **Guettler N**, Nicol E, Sammito S. Exercise ECG for screening in military aircrew. *Aerosp Med Hum Perform* 2022; 93(9):666-672.
3. Sammito S, **Güttler N**. Cardiovascular risk profiles in German Air Force pilots. *BMJ Mil Health* 2020 Nov 30;bmjmilitary-2020-001608.
4. **Guettler N**, Nicol E, Sammito S. Return to flying after catheter ablation of arrhythmic disorders in military aircrew. *Aerosp Med Hum Perform* 2022; 93(10):725-733.
5. Sammito S, Erley OM, Rose DM, **Guettler N**. The prevalence of dietary supplement usage on military aviators. *Int J Environ Res Public Health* 2022; 19(9):5017.
6. Adam T, Sammito S, Nicol E, **Guettler N**. Return to flying duties of German military pilots after recovery from COVID-19. *BMJ Mil Health* 2022; 0:1-5. Epub ahead of print.

7. Zitierte Literatur

1. DeJohn CA, Wollbrink AM, Larcher JG. In-flight medical incapacitation and impairment of U.S. airline pilots: 1993 to 1998. Washington, DC: Federal Aviation Administration. Office of Aerospace Medicine, 2004. Tech Rep No DOT/FAA/AM-04/16.
2. Newman DG. Analysis of Medical Conditions Affecting Pilots Involved in Aircraft Accidents and Incidents: 1 Jan 1975 – 31 March 2006: Australian Government, Australian Transport Safety Bureau Report B2006/01/017, 2006.
3. Joy M. Cardiological aspects of aviation safety. *Eur Heart J* 1999; 20:481-3.
4. Joint Aviation Authorities JAA. Manual of civil aviation medicine. 2009.
5. International Civil Aviation Organization ICAO. Manual of Civil Aviation Medicine, Part I Licensing Practices – Preliminary Edition, 2008.
6. Nicol ED, Rienks R, Gray G, Guettler NJ, Manen O, Syburra T, d'Arcy JL, Bron D, Davenport ED. An introduction to aviation cardiology. *Heart* 2019; 105:s3-s8.
7. Fischer U. Der Kreislauf unter Beschleunigung. Röntgenaufnahmen beim Affen. *Luftfahrtmedizin* 1937; 2:1-13.
8. DeHart RL, Davis RL, Fundamentals of Aerospace Medicine, 3rd edn. Lippincott Williams & Wilkins, 2002:isbn-10:0781728983.
9. Dosel P, Hanousek J, Petricek J, Cettl L. LBNP and push-pull effect. *J Gravit Physiol* 2007; 14(1):P135-6.
10. Smith D, Toff W, Joy M, Dowdall N, Johnston R, Clark L, Gibbs S, Boon N, Hackett D, Aps C, Anderson M, Cleland J. Fitness to fly for passengers with cardiovascular disease. *Heart* 2010; Suppl. 2:ii1-16.
11. International Civil Aviation Organization ICAO. Manual of Civil Aviation Medicine. 3rd Edition, Montréal, Canada, 2012.
12. European Union. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/27 amending Regulation (EU) No 1178/2011. Brussels 2019.
13. European Union. Commission Regulation (EU) 2015/340. Brussels 2015.
14. European Union Aviation Safety Agency (EASA). Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Part-MED. Medical requirements for aircrew. Issue 2. 28 January 2019, Cologne, Germany.
15. Civil Aviation Authority (CAA). Medical standards guidance material. Gatwick, UK, 2015.
16. Federal Aviation Administration (FAA). Guide for aviation medical examiners. Washington, D. C., USA, 2022.
17. Tunstall-Pedoe H. Risk of a coronary heart attack in the normal population and how it might be modified in flyers. *Eur Heart J* 1984; 5 Suppl A:43-9.
18. Gray G, Bron D, Davenport ED, d'Arcy J, Guettler N, Manen O, Syburra T, Rienk R, Nicol ED. Assessing aeromedical risk: a three-dimensional risk matrix approach. *Heart* 2019; 105:s9-s16.
19. Evans A. International regulation of medical standards/Objective risk assessment. In: Rainford D, Gradwell D, eds. Ernsting's Aviation Medicine, 4th Edition: Hodder-Arnold, 2006.
20. Mitchell SJ, Evans AD. Flight safety and medical incapacitation risk of airline pilots. *Aviat Space Environ Med* 2004; 75:260-8.

21. Mulloy A, Wielgosz A. Cardiovascular risk assessment in pilots. *Aerosp Med Hum Perform* 2019; 90(8):730-4.
22. Reason J. Human error: models and management. *BMJ* 2000; 320(7237):768-70.
23. Gerstle CR. Parallels in safety between aviation and healthcare. *J Pediatr Surg* 2018; 53(5):875-8.
24. Holdsworth DA, Eveson LJ, Manen O, Nicol ED. Assessment of clinical and occupational risk: This second article in the occupational cardiology series discusses risk for the individual worker, the remainder of the workforce and the public in high-hazard occupations. *Eur Heart J* 2019; 40(29):2392-5.
25. Mortality Statistics DH2 Number 6. In: Wales RGfEa, editor: HMSO, 1979.
26. Myers J, Prakash M, Froelicher V, Do D, Partington S, Atwood JE. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med* 2002; 346(11):793-801.
27. Keteyian SJ, Brawner CA, Savage PD, Ehrman JK, Schairer J, Divine G, Aldred H, Ophaug K, Ades PA. Peak aerobic capacity predicts prognosis in patients with coronary heart disease. *Am Heart J* 2008; 156(2):292-300.
28. Guettler N, Sammito S. Electrocardiographic abnormalities in medically screened German military aircrew. *J Occup Med Toxicol* 2021; 16:37.
29. Chamley RR, Holdsworth DA, Rajappan K, Nicol ED. ECG interpretation: Interpretation of the ECG in young, fit, asymptomatic individuals undertaking high-hazard occupations is the topic of the fourth article in the occupational cardiology series. *Eur Heart J* 2019; 40(32):2663-6.
30. Boos CJ, Jamil Y, Park M, Moy W, Khanna V, Timperley AC, Sharma S. Electrocardiographic abnormalities in medically screened military aircrew. *Aviat Space Environ Med* 2012; 83(11):1055-9.
31. Ashley EA, Raxwal V, Kaplan A, Froelicher V. An evidence based review of the resting ECG as a screening technique for heart disease. *Int J Bioelectromagn* 2000; 2(1):10-25.
32. Guettler N, Bron D, Manen O, Gray G, Syburra T, Rienks R, d'Arcy J, Davenport ED, Nicol ED. Management of cardiac conduction abnormalities and arrhythmia in aircrew. *Heart* 2019; 105:s38-s49.
33. Guettler N, Nicol E, Sammito S. Exercise ECG for screening in military aircrew. *Aerosp Med Hum Perform* 2022. *Accepted*
34. Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT, Chaitman BR, Fletcher GF, Froelicher VF, Mark DB, McCallister BD, Mooss AN, O'Reilly MG, Winters WL, Gibbons RJ, Antman EM, Alpert JS, Faxon DP, Fuster V, Gregoratos G, Hiratzka LF, Jacobs AK, Russell RO, Smith SC; American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines. ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines). *J Am Coll Cardiol* 2002; 40(8):1531-40. Erratum in: *J Am Coll Cardiol* 2006; 48(8):1731.
35. Klingenheben T, Löllgen H, Bosch R, Trappe HJ. Manual zum Stellenwert der Ergometrie. *Kardiologie* 2018; 12:342.
36. Fox SM 3rd, Naughton JP, Haskell WL. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann Clin Res* 1971; 3(6):404-32.

37. Gibbons RJ, Balady GJ, Beasley JW, Bricker JT, Duvernoy WF, Froelicher VF, Mark DB, Marwick TH, McCallister BD, Thompson PD Jr, Winters WL, Yanowitz FG, Ritchie JL, Gibbons RJ, Cheitlin MD, Eagle KA, Gardner TJ, Garson A Jr, Lewis RP, O'Rourke RA, Ryan TJ. ACC/AHA Guidelines for Exercise Testing. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Exercise Testing). *J Am Coll Cardiol* 1997; 30(1):260-311.
38. Vaidya GN. Application of exercise ECG stress test in the current high cost modern-era healthcare system. *Indian Heart J* 2017; 69(4):551-555.
39. Kharabsheh SM, Al-Sugair A, Al-Buraiki J, Al-Farhan J. Overview of exercise stress testing. *Ann Saudi Med* 2006; 26(1):1-6.
40. Chatterjee M, Schmeißer G. Aktualisierter Leitfaden für die Ergometrie im Rahmen arbeitsmedizinischer Untersuchungen. *ASU Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 2017; 52:913-21.
41. Jolly MA, Brennan DM, Cho L. Impact of exercise on heart rate recovery. *Circulation* 2011; 124(14):1520-26.
42. Jouven X, Empana JP, Schwartz PJ, Desnos M, Courbon D, Ducimetière P. Heart-rate profile during exercise as a predictor of sudden death. *N Engl J Med* 2005; 352(19):1951-8.
43. Aktas MK, Ozduran V, Pothier CE, Lang R, Lauer MS. Global risk scores and exercise testing for predicting all-cause mortality in a preventive medicine program. *JAMA* 2004; 292(12):1462-8.
44. Nishime EO, Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Lauer MS. Heart rate recovery and treadmill exercise score as predictors of mortality in patients referred for exercise ECG. *JAMA* 2000; 284(11):1392-8.
45. Sammito S, Güttler N. Cardiovascular risk profiles in German Air Force pilots. *BMJ Mil Health* 2020 Nov 30;bmjmilitary-2020-001608.
46. Kochanel KD, Murphy S, Xu J, Arias E. Mortality in the United States, 2016. NCHS Data Brief. 2017;2931–8.
47. Mendis S, Puska P, Norrving B. Global Atlas on cardiovascular disease prevention and control. Published by the World Health Organization in collaboration with the World Heart Federation and the World Stroke Organization. Geneva; 2011.
48. Houston S, Mitchell S, Evans S. Prevalence of cardiovascular disease risk factors among UK commercial pilots. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2011; 18(3):510–7.
49. Arteaga-Arredondo LF, Fajardo-Rodriguez HA. Cardiovascular risk factor prevalence in civil aviation pilots in Colombia during 2005 [Prevalencia de factores de riesgo cardiovascular en pilotos de aviación civil en Colombia en el año 2005]. *Rev Salud Publica (Bogotá)* 2010; 12(2):250–6. Spa.
50. Grósz A, Tóth E, Péter I. A 10-year follow-up of ischemic heart disease risk factors in military pilots. *Mil Med* 2007; 172:214-9.
51. Osswald S, Miles R, Nixon W, Celio P. Review of cardiac events in USAF aviators. *Aviat Space Environ Med* 1996; 67(11):1023–7.
52. Dumser T, Borsch M, Wonhas C. Coronary artery disease in aircrew fatalities: morphology, risk factors, and possible predictors. *Aviat Space Environ Med* 2013; 84(2):142–7.
53. Assmann G, Cullen P, Schulte H. Simple scoring scheme for calculating the risk of acute coronary events based on the 10-year follow-up of the prospective cardiovascular Munster (PROCAM) study. *Circulation*. 2002; 105(3):310–5.

54. Guettler N, Nicol E, Sammito S. Return to flying after catheter ablation of arrhythmic disorders in military aircrew. *Aerosp Med Hum Perform* 2022. *Accepted*.
55. Brugada J, Katritsis DG, Arbelo E, Arribas F, Bax JJ, Blomström-Lundqvist C, Calkins H, Corrado D, Deftereos SG, Diller GP, Gomez-Doblas JJ, Gorenek B, Grace A, Ho SY, Kaski JC, Kuck KH, Lambiase PD, Sacher F, Sarquella-Brugada G, Suwaliski P, Zaza A, ESC Scientific Document Group. 2019 ESC Guidelines for the management of patients with supraventricular tachycardia. The Task Force for the management of patients with supraventricular tachycardia of the European Society of Cardiology (ESC): Developed in collaboration with the Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC). *Eur Heart J* 2020; 41(5):655–720.
56. Hindricks G, Potpara T, Dagres N, Arbelo E, Bax JJ, Blomström-Lundqvist C, Boriani G, Castella M, Dan GA, Dilaveris PE, Fauchier L, Filippatos G, Kalman JM, La Meir M, Lane DA, Lebeau JP, Lettino M, Lip GYH, Pinto FJ, Thomas GN, Valgimigli M, Van Gelder IC, Van Putte BP, Watkins CL, ESC Scientific Document Group. 2020 ESC Guidelines for the diagnosis and management of atrial fibrillation developed in collaboration with the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS): The Task Force for the diagnosis and management of atrial fibrillation of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the European Heart Rhythm Association (EHRA) of the ESC. *Eur Heart J* 2021; 42(5):373–498.
57. Priori SG, Blomström-Lundqvist C, Mazzanti A, Blom N, Borggrefe M, Camm J, Elliott PM, Fitzsimons D, Hatala R, Hindricks G, Kirchhof P, Kjeldsen K, Kuck KH, Hernandez-Madrid A, Nikolaou N, Norekvål TM, Spaulding C, Van Veldhuisen DJ, ESC Scientific Document Group, 2015 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: The Task Force for the Management of Patients with Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC), *Eur Heart J* 2015; 36(41):2793–2867.
58. European Union Aviation Safety Agency (EASA). Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Part ATCO.MED. Medical requirements for air traffic controllers. Issue 1. 13 March 2015, Cologne, Germany.
59. United States Air Force, Medical Service. Air Force Waiver Guide. Washington, D. C., USA, last update 02 December 2020.
60. Sammito S, Erley OM, Rose DM, Guettler N. The prevalence of dietary supplement usage on military aviators. *Int J Environ Res Public Health* 2022; 19(9):5017.
61. Dickinson A, MacKay D. Health habits and other characteristics of dietary supplement users: a review. *Nutr J* 2014; 13:14.
62. Dickinson A, Blatman J, El-Dash N, Franco, JC. Consumer usage and reasons for using dietary supplements: report of a series of surveys. *J Am Coll Nutr* 2014; 33:176–182.
63. Bodenbach S, Weinkauff B. Die Einnahme von Vitaminpräparaten in Deutschland. *Z Ernährungswiss* 1997; 36:57-58.
64. Reinert A, Rohrmann S, Becker N, Linseisen J. Lifestyle and diet in people using dietary supplements: a German cohort study. *Eur J Nutr* 2007; 46:165–173.
65. Schwab S, Heier M, Schneider A, Fischer B, Huth C, Peters A, Thorand B. The use of dietary supplements among older persons in southern Germany - results from the KORA-age study. *J Nutr Health Aging* 2014; 18:510–519.

66. Braun H, Koehler K, Geyer H, Kleiner J, Mester J, Schanzer W. Dietary supplement use among elite young German athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2009; 19:97–109.
67. Knapik JJ, Steelman R.A, Hoedebecke S.S, Austin K.G, Farina E.K, Lieberman H.R. Prevalence of Dietary Supplement Use by Athletes: Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 2016; 46:103–123.
68. Knapik JJ, Steelman RA, Hoedebecke SS, Farina EK, Austin KG, Lieberman HR. A systematic review and meta-analysis on the prevalence of dietary supplement use by military personnel. *BMC Complement Altern Med* 2014; 14:143.
69. Use of Dietary Supplements by Military Personnel; Greenwood MR, Oria M, Eds.; Washington (DC), 2008, ISBN 9780309116176.
70. Myung SK, Ju W, Cho B, Oh SW, Park SM, Koo BK, Park BJ. Efficacy of vitamin and antioxidant supplements in prevention of cardiovascular disease: systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ* 2013; 346:f10.
71. Vivekananthan DP, Penn MS, Sapp SK, Hsu A, Topol EJ. Use of antioxidant vitamins for the prevention of cardiovascular disease: meta-analysis of randomised trials. *Lancet* 2003; 361:2017–2023.
72. Geyer H, Parr MK, Mareck U, Reinhart U, Schrader Y, Schänzer W. Analysis of non-hormonal nutritional supplements for anabolic-androgenic steroids - results of an international study. *Int J Sports Med* 2004; 25:124–129.
73. Maughan RJ. Contamination of dietary supplements and positive drug tests in sport. *J Sports Sci* 2005; 23:883–889.
74. Geyer H, Parr MK, Koehler K, Mareck U, Schänzer W, Thevis M. Nutritional supplements cross-contaminated and faked with doping substances. *J Mass Spectrom* 2008; 43:892–902.
75. Bukhari AS, Caldwell JA, DiChiara AJ, Merrill EP, Wright AO, Cole RE, Hatch-McChesney A, McGraw SM, Lieberman HR. Caffeine, Energy Beverage Consumption, Fitness, and Sleep in U.S. Army Aviation Personnel. *Aerosp Med Hum Perform* 2020; 91:641–650.
76. Bukhari AS, Caldwell J.A, DiChiara AJ, Merrill EP, Wright AO, Lieberman HR. Army Aircrew Members perspectives on use of dietary supplements and energy drinks. *Aerosp Med Hum Perf* 2017; 88:286.
77. Adam T, Sammito S, Nicol E, Guettler N. Return to flying duties of German military pilots after recovery from COVID-19. *BMJ Mil Health* 2022; 0:1-5. Epub ahead of print.
78. Gorbalenya AE, Baker SC, Baric RS, de Groot RJ, Drosten C, Gulyaeva AA, Haagmans BI, Lauber C, Leontovich AM, Neuman BW, Penzar D, Perlman S, Poon LLM, Samborskiy VS, Sidorov IA, Sola I, Ziebuhr J. Coronaviridae Study Group of the International Committee on Taxonomy of Viruses. The species Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nat Microbiol* 2020; 5(4):536-544.
79. Thompson R. Pandemic potential of 2019-nCoV. *Lancet Infect Dis* 2020; 20(3):280.
80. Calisher C, Carroll D, Colwell R, Corley RB, Daszak P, Drosten C, Enjuanes L, Farrar J, Field H, Golding J, Gorbalenya A, Haagmans B, Hughes JM, Karesh WB, Keusch GT, Lam SK, Lubroth J, Mackenzie JS, Madoff L, Mazet J, Palese P, Perlman S, Poon L, Roizman B, Saif L, Subbarao K, Turner M. Statement in support of the scientists, public health professionals, and medical professionals of China combatting COVID-19. *Lancet* 2020; 395(10226):e42-e43.

81. Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, Zhang L, Fan G, Xu J, Gu X, Cheng Z, Yu T, Xia J, Wei Y, Wu W, Xie X, Yin W, Li H, Liu M, Xiao Y, Gao H, Guo L, Xie J, Wang G, Jiang R, Gao Z, Jin Q, Wang J, Cao B. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet* 2020; 395(10223):497-506.
82. Gao YD, Ding M, Dong X, Zhang JJ, KursatAzkur A, Azkur D, Gan H, Sun YL, Fu W, Li W, Liang HL, Cao YY, Yan Q, Cao C, Gao HY, Brügggen MC, van de Veen W, Sokolowska M, Akdis M, Akdis CA. Risk factors for severe and critically ill COVID-19 patients: A review. *Allergy* 2021; 76(2):428-455.
83. Azevedo RB, Botelho BG, Hollanda JVG, Ferreira LVL, Junqueira de Andrade LZ, Oei SSML, Mello TS, Muxfeldt ES. Covid-19 and the cardiovascular system: a comprehensive review. *J Hum Hypertens* 2021; 35(1):4-11.
84. Ye Q, Wang B, Mao J. The pathogenesis and treatment of the 'Cytokine Storm' in COVID-19. *J Infect* 2020; 80(6):607-613.
85. Venkatesan P. NICE guideline on long COVID. *Lancet Respir Med* 2021; 9(2):129.
86. Rienks R, Holdsworth D, Davos CH, Halle M, Bennett A, Parati G, Guettler N, Nicol E. Cardiopulmonary assessment prior to returning to high-hazard occupations post symptomatic COVID-19 infection: A position statement of the Aviation and Occupational Cardiology Task Force of the European Association of Preventive Cardiology. *Eur J Prev Cardiol* 2022, Mar 10:zwac041.
87. Gilad D, Gabbai D, Tehori O, Nakdimon I, Bar-Shai A, Shapira S, Ben-Ari O. Return to aviation duty after recovery from COVID-19. *J Mil Veteran Fam Health* 2021; 7(2):116-120.
88. Chamley RR, Holdsworth DA, d'Arcy JL, Nicol ED. An introduction to occupational cardiology. *Eur Heart J* 2019; 40(29):2389-92.
89. Price AE. Heart disease at work. *Heart* 2004; 90:1077-84.
90. Nicol ED, d'Arcy JL, Syburra T, Holdsworth DA. Occupational cardiology: the need for a 21st century sub-speciality?
91. Sharma S, Drezner JA, Baggish A, Papadakis M, Wilson MG, Prutkin JM, La Gerche A, Ackerman MJ, Borjesson M, Salerno JC, Asif IM, Owens DS, Chung EH, Emery MS, Froelicher VF, Heidbuchel H, Adamuz C, Asplund CA, Cohen G, Harmon KG, Marek JC, Molossi S, Niebauer J, Pelto HF, Perez MV, Riding NR, Saarel T, Schmied CM, Shipon DM, Stein R, Vetter VL, Pelliccia A, Corrado D. International recommendations for electrocardiographic interpretation in athletes. *Eur Heart J* 2018; 39(16):1466-1480.
92. Harmon KG, Zigman M, Drezner JA. The effectiveness of screening history, physical exam, and ECG to detect potentially lethal cardiac disorders in athletes: a systematic review/meta-analysis. *J Electrocardiol* 2015; 48(3):329-38.
93. Corrado D, Basso C, Pavei A, Michieli P, Schiavon M, Thiene G. Trends in sudden cardiovascular death in young competitive athletes after implementation of a preparticipation screening program. *JAMA* 2006; 296(13):1593-601.
94. Liesemer K, Flanagan R, Johnson E, Devenport M, Cartwright V, Puntel R. The role of screening electrocardiograms in the evaluation of ROTC cadets applying for flight status. *Mil Med* 2010; 175(7):525-8.
95. Ng CT, Ong HY, Cheok C, Chua TS, Ching CK. Prevalence of electrocardiographic abnormalities in an unselected young male multi-ethnic South-East Asian population undergoing pre-participation cardiovascular screening: results of the Singapore Armed Forces Electrocardiogram and Echocardiogram screening protocol. *Europace* 2012; 14(7):1018-24.

96. Caselli S, Serdoz A, Mango F, Lemme E, Vaquer Segui M, Milan A, Attenhofer Jost C, Schmied C, Spataro A, Pelliccia A. High blood pressure response to exercise predicts future development of hypertension in young athletes. *Eur Heart J* 2019; 40(1):62-8.
97. Gray G, Davenport ED, Bron D, Rienks R, d'Arcy J, Guettler N, Manen O, Syburra T, Nicol ED. The challenge of asymptomatic coronary artery disease in aircrew; detecting plaque before the accident. *Heart* 2019; 105:s17-s24.
98. Holdsworth DA, Chamley RR, Rider OJ, Nicol ED. The importance of exercise testing in occupational cardiovascular assessment for high-hazard professions. *Eur Heart J* 2019; 40(37):3078-80.
99. Löllgen H, Erdmann E, Gitt AK (eds.): Ergometrie. Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer 2010.
100. Löllgen H, Leyk D. Exercise testing in sports medicine. *Dtsch Arztebl Int* 2018; 115:409-16.
101. Baillargeon J. Characteristics of the healthy worker effect. *Occup Med* 2001; 16(2):359-66.
102. Hanada R, Hisada T, Tsujimoto T, Ohashi K. Arrhythmias observed during high-G training: proposed training safety criterion. *Aviat Space Environ Med* 2004; 75:688-691.
103. Feldman A, Voskoboinik A, Kumar S, Spence S, Morton JB, Kistler PM, Sparks PB, Vohra JK, Kalman JM. Predictors of acute and long-term success of slow pathway ablation for atrioventricular nodal reentrant tachycardia: a single center series of 1,419 consecutive patients. *Pacing Clin Electrophysiol* 2011; 34(8):927-933.
104. Davenport ED, Rupp KA, Palileo E, Haynes J. Asymptomatic Wolff-Parkinson-White Pattern ECG in USAF Aviators. *Aerosp Med Hum Perform* 2017; 88(1):56-60.
105. Anguera I, Brugada J, Roba M, Mont L, Aguinaga L, Geelen P, Brugada P. Outcomes after radiofrequency catheter ablation of atrial tachycardia. *Am J Cardiol* 2001; 87(7):886-890.
106. Kistler PM, Sanders P, Fynn SP, Stevenson IH, Hussin A, Vohra JK, Sparks PB, Kalman JM. Electrophysiological and electrocardiographic characteristics of focal atrial tachycardia originating from the pulmonary veins: acute and long-term outcomes of radiofrequency ablation. *Circulation* 2003; 108(16):1968-1975.
107. De Bortoli A, Shi LB, Ohm OJ, Hoff PI, Schuster P, Solheim E, Chen J. Incidence and clinical predictors of subsequent atrial fibrillation requiring additional ablation after cavotricuspid isthmus ablation for typical atrial flutter. *Scand Cardiovasc J* 2017; 51(3):123-128.
108. Gaita F, Scaglione M, Battaglia A, Matta M, Gallo C, Galatà M, Caponi D, Di Donna P, Anselmino M. Very long-term outcome following transcatheter ablation of atrial fibrillation. Are results maintained after 10 years of follow up? *Europace* 2018; 20(3):443-450.
109. Ouyang F, Tilz R, Chun J, Schmidt B, Wissner E, Zerm T, Neven K, Köktürk B, Konstantinidou M, Metzner A, Fuernkranz A, Kuck KH. Long-term results of catheter ablation in paroxysmal atrial fibrillation: lessons from a 5-year follow-up. *Circulation* 2010; 122(23):2368-2377.
110. Kamal M, Abo Omirah M, Hussein A, Saeed H. Assessment and characterisation of post-COVID-19 manifestations. *Int J Clin Pract* 2021; 75(3):e13746.

8. **Abbildungsverzeichnis**

- Abbildung 1: Koordinatensystem zur Richtungsbestimmung der Beschleunigungskräfte..... 5
- Abbildung 2: Thorax-Röntgenaufnahmen eines Schimpansen unter Belastung in der Zentrifuge mit +1 G_z (ganz links), +2 G_z , +4 G_z und +6 G_z ganz rechts). Die Elongation des Herzens und des Mediastinums ist deutlich zu erkennen [7]. 5
- Abbildung 3: Modifizierte dreidimensionale Risikomatrix zur flugmedizinischen Risikostratifizierung. In der ersten Dimension (x-Achse) wird die zunehmende Schwere eines medizinischen Ereignisses unter drei verschiedenen Aspekten dargestellt. In der zweiten Dimension (y-Achse) wird die zu erwartende Häufigkeit eines Ereignisses aufgetragen. Unterschiedliche Funktionen von Besatzungsangehörigen mit unterschiedlicher Relevanz für Flugsicherheit und Einsatzdurchführung stellen die dritte Dimension dar. Die Festlegung des jeweiligen Risikos erfolgt durch den/die Flugmediziner*in, die jeweilige Akzeptanz eines Risikos wird durch die lizensierende Behörde oder den/die Arbeitgeber*in festgelegt. Rot: Untauglich zur Ausübung der jeweiligen Lizenz. Gelb: Tauglich nach eingehender Beratung und ggf. mit Einschränkungen. Grün: Tauglich zur Ausübung der jeweiligen Lizenz (*übersetzt aus* [18]).13
- Abbildung 4: Das Schweizer-Käse-Modell (Swiss Cheese Model) nach Reason [22]. Das Modell stellt graphisch dar, wie verschiedene Abwehr-, Sicherheitsmaßnahmen und Barrieren durchdrungen werden können, so dass es zu einem Unfall oder Zwischenfall kommen kann.....15
- Abbildung 5: Klassifikation der EKG-Befunde der Bewerber*innen für die Piloten-Laufbahn (*übersetzt aus* [28]).....23
- Abbildung 6: Klassifikation der EKG-Befunde der Bewerber*innen für die Laufbahn anderer Besatzungsmitglieder (*übersetzt aus* [28]).23

Abbildung 7: Klassifikation der Belastungs-EKG-Befunde der Bewerber*innen für den Dienst als Pilot*innen. Die Prozentzahlen wurden in Relation zu den 5.871 Bewerber*innen berechnet (übersetzt aus [33]).	30
Abbildung 8: Klassifikation der Belastungs-EKG-Befunde der Bewerber*innen für den Dienst als sonstige Besatzungsangehörige. Die Prozentzahlen wurden in Relation zu den 1.775 Bewerber*innen berechnet (übersetzt aus [33]).	30
Abbildung 9: Klassifikation der Belastungs-EKG-Befunde der Piloten und Pilotinnen, die in die Längsschnittanalyse eingeschlossen wurden (übersetzt aus [33]).	33
Abbildung 10: Überblick über die in die Studie eingeschlossenen Tauglichkeitsuntersuchungen (übersetzt aus [45]).	38
Abbildung 11: Katheterablationen bei deutschem militärischem fliegendem Personal, das zwischen 2004 und 2020 am Zentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe untersucht wurde. Das Diagramm zeigt die Anzahl der primären Ablationen für verschiedene Arrhythmien (dunkelblau) sowie die Anzahl der Probanden und Probandinnen mit einem oder mehreren Rezidiven (hellblau). AVNRT = AV-Knoten-Reentrytachykardie; ALB = akzessorische Leitungsbahn; AT = atriale Tachykardie; AFib = Vorhofflimmern (atrial fibrillation); AFlut = Vorhofflattern (atrial flutter); VES = ventrikuläre Extrasystolen; SVES = supraventrikuläre Extrasystolen; nsAT = nicht anhaltende (non-sustained) atriale Tachykardie (übersetzt und modifiziert aus [54]).	46
Abbildung 12: Katheterablationen bei deutschem militärischem fliegendem Personal, das zwischen 2004 und 2020 untersucht wurde. A AV-Knoten-Reentrytachykardie. B Akzessorische Leitungsbahn. C Atriale Tachykardie. D Typisches Vorhofflattern. Die Diagramme zeigen die Zeiträume bis zu weiteren Ablationen wegen eines Rezidivs derselben oder wegen einer anderen Arrhythmie. Arrhythmien, die erst Jahre nach der primären Ablation aufgetreten sind und als unabhängig von dieser zu werten sind, wurden mit	

einem Stern gekennzeichnet. Probanden und Probandinnen können in mehreren Diagrammen dargestellt sein, wenn sie wegen verschiedener Arrhythmien abladiert wurden. In den Begriff "nicht-Pilot" ist hier die weibliche Form miteingeschlossen. AV = atrioventrikulär; AFlut = Vorhofflattern; AT = atriale Tachykardie; AFib = Vorhofflimmern (übersetzt und modifiziert aus [54]).47

Abbildung 13: Katheterablationen bei deutschem militärischem fliegendem Personal, das zwischen 2004 und 2020 untersucht wurde. **A** Vorhofflimmern. **B** Atypisches Vorhofflattern. **C** Ventrikuläre Extrasystolen. **D** Supraventrikuläre Extrasystolen / nicht-anhaltende atriale Tachykardie. Die Diagramme zeigen die Zeiträume bis zu weiteren Ablationen wegen eines Rezidivs derselben oder wegen einer anderen Arrhythmie. Probanden und Probandinnen können in mehreren Diagrammen dargestellt sein, wenn sie wegen verschiedener Arrhythmien abladiert wurden. In den Begriff "Nicht-Pilot" ist hier die weibliche Form miteingeschlossen. AFib = Vorhofflimmern; AT = atriale Tachykardie (übersetzt und modifiziert aus [54]).48

Abbildung 14: Prozess des Einschlusses der Testpersonen (übersetzt aus [60]).54

Abbildung 15: COVID-19-Symptome der 90 eingeschlossenen Piloten und Pilotinnen (82 aktive und 8 Anwärter*innen) in absoluten Zahlen und Prozentzahlen. Die Prozentzahlen sind auf der X-Achse dargestellt, die absoluten Zahlen sind in den Balken hinzugefügt (übersetzt aus [77]).62

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Effekt eines leichten Anstiegs der G-Belastung auf Herzschlagfrequenz, Schlagvolumen und Herzzeitvolumen [8].	6
Tabelle 2: EKG-Befunde von Erstbewerbern und Erstbewerberinnen für die Laufbahnen als Piloten und Pilotinnen und anderer Besatzungsmitglieder. Die Gesamtzahl der Befunde übersteigt die der Bewerber*innen, weil ein(e) Bewerber*in mehrere Befunde aufweisen konnte. Die prozentualen Anteile wurden im Verhältnis zu der Zahl der Bewerber*innen berechnet. VES = ventrikuläre Extrasystole; SVES = supraventrikuläre Extrasystole; AV = atrioventrikulär; RSB = Rechtsschenkelblock; HF = Herzschlagfrequenz; min = Minute; EKG = Elektrokardiogramm; n = Anzahl. * = Bewerber*innen für den fliegerischen Dienst erhalten routinemäßig eine Echokardiographie. Keine davon zeigte eine linksventrikuläre Hypertrophie (übersetzt aus [28]).	22
Tabelle 3: Auffällige EKG-Befunde bei Piloten, Pilotinnen und anderen Besatzungsmitgliedern. HF = Herzfrequenz; min = Minute; n = Anzahl. *Der Myokardinfarkt war bereits durch die Anamnese bekannt. Der Proband wurde unabhängig vom EKG-Befund als untauglich beurteilt (übersetzt aus [28])......	25
Tabelle 4: Belastungs-EKG-Befunde von Erstbewerbern und -bewerberinnen für den Dienst als Pilot*in und andere Besatzungsangehörige. Die Anzahl der Befunde übersteigt leicht die der Bewerber*innen, weil ein Belastungs-EKG mehrere auffällige Befunde zeigen kann. Die Prozentzahlen wurden im Verhältnis zur Anzahl der Bewerber*innen berechnet. n = Anzahl (übersetzt aus [33])......	29
Tabelle 5: Belastungs-EKG-Befunde der Piloten und Pilotinnen, die in die Längsschnittstudie eingeschlossen wurden. Die Prozentzahlen wurde in	

Relation zur Gesamtzahl der Belastungs-EKGs berechnet. n = Anzahl; AV = atrioventrikulär (übersetzt aus [33]).	32
Tabelle 6: Kardiovaskuläre Risikofaktoren und PROCAM-Score (nicht altersadjustiert und altersadjustiert) für Piloten in den Untersuchungszeiträumen 2007-2009 und 2016-2018 (übersetzt aus [45]).	39
Tabelle 7: Kardiovaskuläre Risikofaktoren und PROCAM-Scores (nicht altersadjustiert und altersadjustiert) für die Piloten und Pilotinnen, die in beiden Untersuchungszeiträumen 2007-2009 und 2016-2018 untersucht wurden (übersetzt aus [45]).	40
Tabelle 8: Alter und PROCAM-Score (nicht altersadjustiert und altersadjustiert) für Piloten und Pilotinnen in den Untersuchungszeiträumen 2007-2009 und 2016-2018 und für verschiedene Luftfahrzeugtypen (übersetzt aus [45]).	41
Tabelle 9: Alter und RROCAM-Score (nicht altersadjustiert und altersadjustiert) für Piloten und Pilotinnen, die in beiden Untersuchungszeiträumen 2007-2009 und 2016-2018 untersucht wurden und für verschiedene Luftfahrzeugtypen (übersetzt aus [45]).	42
Tabelle 10 (A – H): Flugmedizinische Entscheidungen und zusätzliche Informationen, die diese Entscheidung beeinflussten, bei deutschem militärischem fliegendem Personal, das eine oder mehrere Katheterablationen erhalten hat und zwischen 2004 und 2020 flugmedizinisch untersucht wurde. Einzelne Probanden und Probandinnen sind mehrfach vertreten, wenn sie wegen mehrerer Arrhythmien abladiert wurden. No. = Nummer; KHK = Koronare Herzkrankheit; OML = Operational Multicrew Restriction (Doppelsteuerauflage); RPA = Remotely Piloted Aircraft (Drohne); HZF = Humanzentrifuge; SVES = supraventrikuläre Extrasystole; AFib = Atrial Fibrillation (Vorhofflimmern); COPD = Chronic Obstructive Pulmonary Disease (chronisch obstruktive Lungenerkrankung) (übersetzt und modifiziert aus [54]).	49

Tabelle 11: Gesamtzahl der Teilnehmer und Anzahl der Piloten und Pilotinnen für die drei Flugzeugtypen mit Median (Interquartile Range) für Alter, Anzahl der Männer, sportliche Aktivitäten und Prävalenz des Gebrauchs von Nahrungsergänzungsmitteln oder Energy Drinks (übersetzt aus [60]).	55
Tabelle 12: Antworten auf die Frage, wo die Nahrungsergänzungsmittel gekauft bzw. von wo sie erhalten wurden. Mehrere Antworten waren möglich, n = 60 (übersetzt aus [60]).	55
Tabelle 13: Antworten auf die Frage, wer die Einnahme von Nahrungsergänzungsmitteln empfohlen hat. Mehrere Antworten waren möglich, n = 60 (übersetzt aus [60]).	56
Tabelle 14: Gruppen von eingenommenen Nahrungsergänzungsmitteln. Die Prozentzahlen beziehen sich auf alle Piloten und Pilotinnen, die regelmäßig Nahrungsergänzungsmittel (im Median jeden Tag) einnehmen, absteigend geordnet nach der Anzahl, n = 60 (übersetzt aus [60]).	57
Tabelle 15: Odds Ratios für die Assoziation zwischen verschiedenen Symptomen und Voraussetzungen und dem Anhalten der Symptome über den Untersuchungszeitraum hinaus. Keiner der aufgelisteten Faktoren war als Prädiktor für anhaltende Symptome und die mögliche Entwicklung eines „Post-COVID-19-Syndroms“ geeignet. OR = Odds Ratio; CI = Konfidenzintervall (übersetzt aus [77]).	63

10. Erklärung über die eigenständige Anfertigung der Arbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit bzw. die mir zuzuordnenden Teile im Rahmen einer kumulativen Habilitationsschrift, selbstständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündliche Auskünfte beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Ich versichere, dass ich für die nach §2 (3) der Habilitationsordnung angeführten bereits veröffentlichten Originalarbeiten als Erst- oder Seniorautor fungiere, da ich den größten Teil der Daten selbst erhoben habe, für das Design der Arbeiten verantwortlich bin und die Manuskripte maßgeblich gestaltet habe. Für alle von mir erwähnten Untersuchungen habe ich die in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegten Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass alle an der Finanzierung der Arbeiten beteiligten Geldgeber in den jeweiligen Publikationen genannt worden sind. Ich versichere außerdem, dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Weise einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt wurde oder Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens war. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.

Hiermit erkläre ich ferner, dass ich bisher noch keine Habilitationsversuche unternommen habe. Ich erkläre weiterhin, dass ich mich nicht an anderer Stelle zur Habilitation gemeldet habe und dass ich mich nicht vor Abschluss des Habilitationsverfahrens an anderer Stelle zur Habilitation melden werde.

Dr. med. Norbert Güttler

11. Anhang

Tabellarischer Lebenslauf entfernt

Tabellarischer Lebenslauf entfernt

Tabellarischer Lebenslauf entfernt

Tabellarischer Lebenslauf entfernt

Tabellarischer Lebenslauf entfernt

Publikationsverzeichnis des Verfassers

- 2022** **Guettler N**, Nicol E, Sammito S. Return to flying after catheter ablation of arrhythmic disorders in military aircrew. *Aerosp Med Hum Perform* 2022; 93(10):725-733.
- Guettler N**, Nicol E, Sammito S. Exercise ECG for screening in military aircrew. *Aerosp Med Hum Perform* 2022; 93(9):666-672.
- Adam T, Sammito S, Nicol E, **Guettler N**. Return to flying duties of German military pilots after recovery from COVID-19. *BMJ Mil Health* 2022; 0:1-5. Epub ahead of print.
- Sammito S, Erley OM, Rose DM, **Güttler N**. The prevalence of dietary supplement usage in military aviators. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Apr 20; 19(9):5017. doi: 10.3390/ijerph19095017. PMID: 35564407.
- Guettler NJ**, Cox A, Holdsworth DA, Rajappan K, Nicol ED. Possible safety hazards with cardiac implantable electronic devices in those working in the aviation industry. *Eur J Prev Cardiol*. 2022 Mar 2:zwac045. doi: 10.1093/eurjpc/zwac045. Online ahead of print. PMID: 35234879.
- Sammito S, **Güttler N**. Herzrhythmusstörungen (inkl. Synkopen). In: Letzel, Schmitz-Spanke, Lang, Nowak (Hrsg): Klinische Symptome in der Arbeitsmedizin – Leitfaden für die Differenzdiagnostik in Praxis und Klinik. Ecomed Medizin, Landsberg am Lech, 2022: 111-120.
- Rienks R, Holdsworth D, Davos CH, Halle M, Bennett A, Parati G, **Guettler N**, Nicol E. Cardiopulmonary assessment prior to returning to high-hazard occupations post symptomatic COVID-19 infection: A position statement of the Aviation and Occupational Cardiology Task Force of the European Association of Preventive Cardiology. *Eur J Prev Cardiol*. 2022 Mar 10:zwac041. doi: 10.1093/eurjpc/zwac041. Online ahead of print. PMID: 35266533.
- Parsons IT, Nicol ED, Holdsworth D, **Guettler N**, Rienks R, Davos CH, Halle M, Parati G. Cardiovascular risk in high-hazard occupations: the role of occupational cardiology. *Eur J Prev Cardiol*. 2022 Mar 30; 29(4):702-713. doi: 10.1093/eurjpc/zwab202. PMID: 34918040.
- 2021** **Guettler N**, Sammito S. Electrocardiographic abnormalities in medically screened German military aircrew. *J Occup Med Toxicol* 2021 Aug 31; 16(1):37. doi: 10.1186/s12995-021-00327-x. PMID: 34465360.
- 2020** Sammito S, **Güttler N**. Cardiovascular risk profiles in German Air Force pilots. *BMJ Mil Health* 2020; Epub ahead of print. doi:10.1136/bmjmilitary-2020-001608.
- Guettler N**, Rajappan K, Nicol E. Atrial fibrillation and dementia. *Eur J Arrhythm Electrophysiol* 2020; 6(1):10-6.
- Sammito S., Hebllich F. **Güttler N**. Die Fahrradergometrie in der arbeitsmedizinischen Vorsorge. *Zbl Arbeitsmed* 2020; <https://doi.org/10.1007/s40664-020-00387-6>.
- 2019** **Güttler N**. [Case Report: Back to flying duties after cardiac infarction and operative revascularization?] *WMM* 2019; 68(12): 415-420.
- Guettler N**, Rajappan K, Nicol E. The impact of age on long QT syndrome. *Aging (Albany NY)*. 2019; 11(24):11795-6. doi: 10.18632/aging.102623.

Syburra MT, **Guettler N**, D´Arcy JL, Nicol ED. Clinical occupational assessment pre- and post-cardiac surgery. *Eur Heart J* 2019; 40(40):2283-6. doi: 10.1093/eurheartj/ehz700.

Guettler N, Rajappan K, Holdsworth DA, Nicol ED. The assessment of asymptomatic inherited QT prolongation for high-hazard occupations. *Eur Heart J* 2019; 40(33):2750-3. doi: 10.1093/eurheartj/ehz579.

Guettler N, Rajappan K, D Arcy JL, Nicol ED. Electrophysiologic assessment of aircrew and other high-hazard employees. *Eur Heart J* 2019; 40(31):2560-3. doi: 10.1093/eurheartj/ehz558.

Guettler N, Rajappan K, Nicol E. Atrial fibrillation ablation: benefits beyond symptom reduction with a focus on patients with heart failure with reduced ejection fraction. *Eur J Arrhythm Electrophysiol* 2019; 5(1):30-8.

Nicol ED, Rienks R, Gray G, **Guettler NJ**, Manen O, Syburra T, d´Arcy J, Bron D, Davenport ED. An introduction to aviation cardiology. *Heart* 2019; 105:s3-s8.

Gray G, Bron D, Davenport ED, d´Arcy J, **Guettler N**, Manen O, Syburra T, Rienks R, Nicol ED. Assessing aeromedical risk: a three-dimensional risk matrix approach. *Heart* 2019; 105:s9-s16.

Gray G, Davenport ED, Bron D, Rienks R, d´Arcy J, **Guettler N**, Manen O, Syburra T, Nicol ED. The challenge of asymptomatic coronary artery disease in aircrew; detecting plaque before the accident. *Heart* 2019; 105:s17-s24.

Davenport ED, Gray G, Rienks R, Bron D, Syburra T, d´Arcy J, **Guettler NJ**, Manen O, Nicol ED. Management of established coronary artery disease in aircrew without myocardial infarction or revascularisation. *Heart* 2019; 105:s25-s30.

Davenport ED, Syburra T, Gray G, Rienks R, Bron D, Manen O, d´Arcy J, **Guettler NJ**, Nicol ED. Management of established coronary artery disease in aircrew with previous myocardial infarction or revascularisation. *Heart* 2019; 105:231-s37.

Guettler N, Bron D, Manen O, Gray G, Syburra T, Rienks R, d´Arcy J, Davenport ED, Nicol ED. Management of cardiac conduction abnormalities and arrhythmia in aircrew. *Heart* 2019; 105:s38-s49.

D´Arcy J, Manen O, Davenport ED, Syburra T, Rienks R, **Guettler N**, Bron D, Gray G, Nicol ED. Heart muscle disease management in aircrew. *Heart* 2019; 105:s50-s56.

D´Arcy J, Syburra T, **Guettler N**, Davenport ED, Manen O, Gray G, Rienks R, Bron D, Nicol ED. Contemporaneous management of valvular heart disease and aortopathy in aircrew. *Heart* 2019; 105:s57-s63.

Nicol ED, Manen O, **Guettler N**, Bron D, Davenport ED, Syburra T, Gray G, d´Arcy J, Rienks R. Congenital heart disease in aircrew. *Heart* 2019; 105:s64-s69.

Guettler N, Nicol ED, d´Arcy J, Rienks R, Bron D, Davenport ED, Manen O, Gray G, Syburra T. Non-coronary cardiac surgery and percutaneous cardiology procedures in aircrew. *Heart* 2019; 105:s70-s73.

2018 **Guettler N**, Nicol E, Schmitt J, Rajappan K. Mechanisms of atrial fibrillation and their impact on strategies for catheter ablation. *Eur J Arrhythm Electrophysiol* 2018; 4(2):56-64.

- 2016** Deubner N, Greiss H, Akkaya E, Zaltsberg S, Hain A, Berkowitsch A, **Güttler N**, Kuniss M, Neumann T. The slope of the initial temperature drop predicts acute pulmonary vein isolation using the second-generation cryoballoon. *Europace* 2016, doi:10.1093/europace/euw192.
- Parahuleva MS, Burgasli M, Soydan N, Franzen W, **Güttler N**, Erdogan A. Failure of Femoral Access to Electrophysiological Evaluation Due to Aplasia of the Inferior Vena Cava. *Clin Med Insights: Cardiol* 2016;10 1-3.
- 2015** Greiss H, Berkowitsch A, Wojcik M, Zaltsberg S, Pajitnev D, Deubner N, Akkaya E, **Güttler N**, Hamm C, Neumann T, Kuniss M. The Impact of Left Atrial Surface Area and the Second Generation Cryoballoon on Clinical Outcome of Atrial Fibrillation Cryoablation. *PACE* 2015, doi:10.1111/pace.12637.
- 2014** Parahuleva MS, Kanse S, Hölschermann H, Zheleva K, Zandt D, Worsch M, Parviz B, **Güttler N**, Tillmanns H, Böning A, Erdogan A. Association of circulating factor seven activating protease (FEAP) and of oral Omega-3-fatty acids supplements with clinical outcome in patients with atrial fibrillation: the OMEGA-AF-study. *J Thromb* 2014 Apr, 37(3), 317-25. Doi: 10.1007/s11239-013-0921-0.
- 2012** **Güttler N**, Zheleva K, Parahuleva M, Chasan R, Bilgin M, Neuhof C, Burgazli M, Niemann B, Erdogan A, Böning A. Omega-3 Fatty Acids and Vitamin D in Cardiology. *Cardiol Res Pract* 2012, doi:10.1155/2012/729670.
- 2010** Erdogan A, **Guettler N**, Doerr O, Franzen W, Soydan N, Bilgin M, Vogelsang P, Parahuleva M, Tillmanns H, Stracke S, Guenduez D, Neuhof C. Randomized comparison of multipolar, duty-cycled, bipolar-unipolar radiofrequency versus conventional catheter ablation for treatment of common atrial flutter. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2010 Oct; 21(10):1109-13. Doi: 10.1111/j. 1540-8167.2010.01780.x.
- 2006** Vukajlovic D, **Guettler N**, Miric M, Pitschner HF. Effects of atropine and pirenzepine on heart rate turbulence. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2006; 11(1):34-7.
- 2003** Carlsson J, Schulte B, Erdogan A, Sperzel J, **Güttler N**, Schwarz T, Pitschner HF, Neuzner J. Prospective randomized comparison of two defibrillation safety margins in unipolar, active pectoral defibrillator therapy. *PACE* 2003; 26(2 Pt 1):613-18. Doi: 10.1046/j.1460-9592.2003.00102.x.
- 2002** Kurzidim K, Neumann T, Vukajlovic D, **Güttler N**, Sperzel J, Bahavar H, Hamm CW, Pitschner HF. Gekühlte HF-Stromkatheterablation epikardialer Ausflusstrakttachykardien über die Sinus valsalvae der Aorta. [Cooled tip ablation of left ventricular outflow tract tachycardia through the aortic sinus of valsalva]. *Z Kardiol* 2002; 91(10):796-805.
- Berkowitsch A, Carlsson J, Erdogan A, **Guettler N**, Neuzner J, Pitschner HF. Shock coordinated with high power of morphology electrogram improves defibrillation success in patients with implantable cardioverter defibrillators. *PACE* 2002 Sep; 25(9):1293-300. Doi: 10.1046/j.1460-9592.2002.01293.x.
- 2001** Berkowitsch A, **Guettler N**, Neumann T, Vukajlovic D, Schulte B, Neuzner J, Pitschner HF. Turbulence Jump – a new descriptor of heart-rate turbulence after paced premature ventricular beats. A study in dilated cardiomyopathy patients. *Eur Heart J* 2001; 22: Suppl. P. 547, P2941.
- Sperzel J, Reiner C, Schwarz T, Ehrlich W, Neumann T, **Güttler N**, Kurzidim K, Pitschner HF. Left ventricular leads used in cardiac resynchronization therapy

for heart failure patients. *Herzschrittmacherther Elektrophysiol* 2001 Dec; 12(4):195-203.

Erdogan A, Schulte B, Carlsson J, Sperzel J, **Güttler N**, Berkowitsch A, Pitschner H, Neuzner J. [Clinical characteristics of patients with AV-nodal reentrant tachycardia (AVNRT): modification by high frequency catheter ablation. Study of 748 patients after high frequency catheter ablation]. *Med Klin* (Munich, Germany : 1983) 2001; 96(12):708-12.

Carlsson J, Erdogan A, **Guettler N**, Schulte B, Lay D, Neuzner J, Hamm CW, Pitschner HF. Myocardial injury during radiofrequency catheter ablation: comparison of focal and linear lesions. *PACE* 2001 Jun; 24(6):962-8.

Berkowitsch A, **Guettler N**, Schulte B, Neumann T, Vukajlovic D, Erdogan A, Pitschner HF. Normalization of RR sequences: a new approach for quantitative assessment of heart rate turbulence by abnormal post stimulation response. *Comput Cardiol* 2001:321324.

- 1988** Schwarz-Albiez R, Steffen I, Lison A, **Güttler N**, Schirrmacher V, Keller R. Expression and enhanced secretion of proteochondroitin sulphate in a metastatic variant of a mouse lymphoma cell line. *Br J Cancer* 1988; 57(6):569-75.

Danksagung entfernt

Der Habilitationsschrift zugrundeliegende Publikationen

RESEARCH

Open Access



Electrocardiographic abnormalities in medically screened German military aircrew

Norbert Guettler^{1,2} and Stefan Sammito^{1,3*} 

Abstract

Background: A resting electrocardiogram (ECG) is a well-tolerated, non-invasive, and inexpensive test for overt electrical signs of cardiac pathology and is widely used in the screening of aircrew and other high-hazard occupations. Given the low number of pathological results leading to disqualification or restriction however, there is an ongoing debate as to how often screening ECGs should be performed in different age groups.

Methods: We retrospectively analyzed 8275 resting 12-lead ECGs registered between 2007 and 2020 in the German Air Force Centre of Aerospace Medicine. Findings were categorized according to consensus recommendations published by the NATO Working Group on Occupational Cardiology in Military Aircrew, based on ECG screening criteria published for athletes which were used at the time of registration. Age, sex, height, weight, and body mass index of the probands were also captured. Additionally, 4839 pilot and non-pilot aircrew members were analyzed longitudinally over a maximum period of 13.4 years.

Results: Out of all the ECGs only 18 revealed findings requiring further investigation, and only one individual was temporarily disqualified because of a ventricular pre-excitation (delta wave) as a sign of an antegrade conducting accessory pathway. The longitudinal analysis of 25,829 ECGs revealed 28 abnormalities requiring further investigation, and only two ECG findings (in probands aged 48.8 and 59.1 years) led to temporary, or permanent disqualification. In a third case, the ECG showed signs of a myocardial infarction, which was already known from the proband's history.

Conclusions: Initial ECG screening for asymptomatic aircrew revealed extremely low numbers of individuals requiring further investigation in our cohort. This would appear to justify an initial screening ECG and follow-up ECGs at certain intervals starting at a certain age, but routine ECG screening of applicants in professions with a higher risk tolerance or frequent, e.g. annual, follow-up ECGs in younger aircrew is not supported by our data because of the minimal yield of ECG findings requiring further investigation.

Keywords: ECG screening, Pilot applicants, Aircrew, Prevention, Aerospace medicine

* Correspondence: stefan.sammito@med.ovgu.de

¹German Air Force Centre of Aerospace Medicine, Cologne, Germany

³Department of Occupational Medicine, Medical Faculty, Otto von Guericke University, Magdeburg, Germany

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s). 2021 **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

Background

A resting electrocardiogram (ECG) is a well-tolerated, non-invasive and inexpensive test for overt electrical signs of cardiac pathology. It is widely used in the screening of initial pilot applicants, as part of periodic medical examinations (PME) of trained aircrew, and in the screening of individuals applying for, or working in, high-hazard employment. According to the regulations of many civilian aviation licensing authorities, a 12-lead resting ECG is the only routinely performed machine-aided cardiological examination in a flight physical exam [1–4].

ECG screening of young individuals mainly concentrates on the detection of inherited channelopathies, delta waves, or signs of cardiomyopathies, whereas in individuals aged 40 years and over, it focuses on the diagnosis of coronary artery disease.

It has been shown in several studies that the proportion of abnormal ECG results in the screening of young, asymptomatic, and apparently healthy individuals is exceptionally low, and that many of these abnormal results can be regarded as “normal variants”, for example caused by a high vagal tone [2, 5–7]. This has led to an ongoing discussion about if, and how often, a screening ECG should be performed in young individuals, with the inherent risk of false positive results, potentially leading to fruitless investigations and subsequent social and economic costs. Labeling individuals with an uncertain diagnosis originating from a false-positive ECG finding can also lead to psychological effects, as well as possible impacts on insurance policies and employment.

All German military pilot applicants are aeromedically screened in the German Air Force Centre of Aerospace Medicine (GAFCAM) in Fuerstenfeldbruck, Germany. In addition, screening is also performed for licensed non-pilot aircrew. The initial screening includes a 12-lead resting ECG for both groups. After the initial screening German Air Force, Army and Navy pilots, as well as weapon system officers on fast jets, undergo PME at the same centre.

In this study, we analyzed 8275 screening ECGs from initial examinations of pilot and non-pilot applicants, as well as 4839 screening ECGs from PMEs of active service pilot and non-pilot aircrew over a period of maximum 13.4 years (2007–2020). Abnormal ECG results were analyzed for their relevance in an aeromedical context. The aim of this study was to retrospectively evaluate the incidence of positive results in aeromedical ECG screenings, the potential false-positive rate, and to determine appropriate ECG examination intervals.

Methods

We analyzed data from initial examinations and PME in the GAFCAM between February 2007 and June 2020.

Weapon system officers on fast jets are classed as pilots. Examination intervals are 3 years for pilots up to 40 years of age, with annual examinations by the local flight surgeons in the intervening years. Pilots above 40 years of age are examined annually at the GAFCAM. Licensed non-pilot aircrew are examined, with an ECG, annually by the local flight surgeon regardless of their age. Exceptions to this rule are non-pilot aircrew with a waiver according to the German waiver system, and flight surgeons. These two groups usually undergo annual examinations at the GAFCAM.

A total of 8275 ECGs registered during initial screening were retrospectively analyzed, 6284 of pilot applicants and 1991 of non-pilot aircrew applicants. For the longitudinal analysis, a total of 25,829 ECGs from 4839 aircrew (4216 pilots and 623 non-pilot aircrew) were captured. The *custo card m™* ECG device (*custo med GmbH, Ottobrunn, Germany*) was used. ECG registration lasted for 4.4 s, the sweep speed was routinely 50 mm/s. The intervals (P wave, PQ interval, QRS complex, QT interval, QTc, and RR interval) were measured automatically, the corrected QT interval QTc was calculated by the device using Bazett's formula: $QT / \sqrt{R-R}$ interval, but all ECGs were also over-read and interpreted by one of the physicians working in the Department of Internal Medicine. Age, sex, height, weight, and body mass index (BMI) were also captured.

The discrepancy in numbers between aircrew applicants and active aircrew is due to the following reasons:

- 1) Not all aircrew applicants were accepted for aircrew duties.
- 2) Non-pilot aircrew only underwent their initial examination at the GAFCAM, follow-up examinations were performed by the local flight surgeon. Exemptions from this rule were aircrew with medical problems in any speciality, and flight surgeons who are categorically examined at the GAFCAM.
- 3) Some aircrew included in the longitudinal analysis had their initial examination prior to the start of the analysis period in 2007, when the institute information system changed, and data collection became possible.

Abnormal ECG results were retrospectively categorized into normal variants, those requiring further investigation, and those disqualifying for aircrew duties, according to the recently published consensus recommendations by the NATO Human Factor and Medicine (HFM)-251 Occupational Cardiology in Military Aircrew working group (Table 1) [1]. The ECG criteria for aircrew published in 2019 were based on several publications on ECG screening criteria for athletes which were used for ECG evaluation at the time of registration [8–

Table 1 Recommendations for the assessment of ECG findings in aircrew [1]. BMI = body mass index; QTc = corrected QT-interval; yr = years; bpm = beats per minute

Normal ECG variants	For normal variants, consider further investigation if...	ECG findings requiring further investigation	ECG findings disqualifying for high-risk duties unless treated, with resulting acceptable risk
Sinus arrhythmia	Sino-atrial block (< 3 s/day, < 4 s/night)	Sinus arrest Sino-atrial block > 3 s/day, > 4 s/night	
Ectopic atrial rhythm with inverted P waves in the inferior limb leads	Symptoms suggestive of tachycardia		
Sinus bradycardia ≥40 bpm	Sinus bradycardia < 40 bpm Junctional rhythm	Idioventricular rhythm	
Sinus tachycardia > 100 bpm	Persistent sinus tachycardia > 100 bpm at rest		
1st degree AV block – PR < 300 ms		1st degree AV block – PR > 300 ms	
2nd degree AV block Mobitz I (Wenckebach)	first appearance at age > 40 yr or if frequent, especially while awake		2nd degree AV block Mobitz II 3rd degree AV block
Incomplete right bundle branch block Left anterior fascicular block	New Left anterior fascicular block block > 40 yr	Complete right bundle branch block Left bundle branch block Left posterior fascicular block	
Single premature atrial complex (PAC) or premature junctional complex (PJC)		> 1 premature atrial complex (PAC) or premature junctional complex (PJC) Supraventricular tachycardia < 30 s	Supraventricular tachycardia > 30 s or symptomatic
Single premature ventricular complex (PVC)		> 1 premature ventricular complex (PVC) or ≥ 1 pair Ventricular tachycardia ≤ 11 beats	Ventricular tachycardia > 11 beats or symptomatic
Short PR interval 90-120 ms with no evidence of delta waves	Very short PR < 90 ms	asymptomatic ventricular pre-excitation	Wolff-Parkinson-White (WPW) syndrome
Isolated QRS voltage criteria for left ventricular hypertrophy, especially in young people	Elevated BP, BMI > 30, age > 40 yr, or new finding	Left ventricular hypertrophy with strain	
Atrial enlargement	Accompanied by axis deviation		
Right ventricular hypertrophy (R wave in V ₁ plus S wave in V ₅ or V ₆ > 10.5 mm)			
ST segment depression and/or negative T wave only in lead III		Diffuse T wave abnormality or ST changes	
QTc prolongation (QTc < 470 ms)	Family history of long QT syndrome	QTc > 470 ms but < 500 ms	QTc > 500 ms
Early repolarization (benign form) - no evidence of delta waves		Brugada Type 2	Brugada Type 1 pattern

10]. Although there are differences between athletes and aircrew concerning the intensity of training, ECG evaluations based on those criteria were practically almost identical to the retrospective evaluation based on the 2019 criteria for aircrew. Further investigations triggered by abnormal ECG findings and their outcomes were also analyzed.

Statistical analyses were conducted using IBM SPSS Statistics for Windows 24 (IBM Corp. Released 2016, Armonk, NY, USA). Data analysis was primarily

descriptive. Because the Kolmogorov-Smirnov test showed that none of the nominal scale parameters was normally distributed, median, and interquartile range (IQR) were calculated. Differences were analyzed with Pearson’s chi-squared test, and for independent samples Mann-Whitney U test was used. Significance level was defined as $p < 0.05$.

According to the regulations of the Bavarian Medical Association, the responsible authority for this study, a

Table 2 Baseline characteristics of the included applicants for pilot and non-pilot aircrew. Age, height, weight, and BMI are given as median (Interquartile Range (IQR); 25–75%); BMI = body mass index

	Pilot aircrew	Non-pilot aircrew
Number (n)	6284	1991
Age (years)	20.0 (3.0)	28.4 (9.9)
Sex		
male, n (%)	6092 (96.9)	1564 (78.6)
female, n (%)	192 (3.1)	427 (21.4)
Height (cm)	180.3 (8.9)	178.4 (11.0)
Weight (kg)	75.0 (13.4)	79.3 (17.4)
BMI (kg/cm²)	23.0 (3.5)	24.8 (4.4)

vote of the ethics committee was not necessary for this retrospective analysis without a risk to the participants. All data was analyzed as pseudonymized records.

Results

Baseline characteristics of the included applicants are illustrated in Table 2. Average age, BMI, weight, and the percentage of females were higher, and the height was lower in non-pilot aircrew than in pilot aircrew applicants ($p < 0.001$).

There was no difference between the results of the original ECG analysis at the time of registration and those based on the criteria published in 2019 [1]. Table 3 shows all ECG findings seen in pilot and non-pilot applicants. These findings are attributed to applicants, so one proband may have a combination of two or three abnormal findings. The probands are categorized into those with findings regarded as normal variants without the need for further investigation, and those requiring further investigation (see Fig. 1).

Table 3 ECG findings in pilot and non-pilot aircrew applicants from the initial examination (ordered by the need for further investigation). The total number of findings exceeds the number of applicants, because one applicant may be affected by more than one finding. Percentages are calculated in relation to the number of applicants. AV = atrioventricular; RBBB = right bundle branch block; HR = heart rate; bpm = beats per minute; ECG = electrocardiogram; n = number. * = pilot applicants routinely undergo transthoracic echocardiography. None of these revealed left ventricular hypertrophy

Abnormal finding(s)	pilots		non-pilot aircrew	Further investigation required	
	n	%	n	%	
Complete RBBB	–	–	1	0.05	Yes
Diffuse ST / T segment changes	1	0.02	–	–	Yes
Sinus bradycardia (HR < 40 bpm)	7	0.10	3	0.15	Yes
ST segment and T wave abnormalities II, III, aVF	3	0.05	–	–	Yes
Suspected delta wave	–	–	1	0.05	Yes
Ventricular pre-excitation (delta wave)	1	0.02	–	–	Yes
1 premature atrial or ventricular complex	117	1.86	18	0.90	No
1st degree AV Block (PR < 300 ms)	2	0.03	–	–	No
Benign early repolarization	3	0.05	–	–	No
Discrete ST / T segment changes ¹	2491	39.64	303	15.22	No
Ectopic atrial rhythm	2	0.03	–	–	No
Incomplete RBBB	10	0.16	1	0.05	No
Intermittent junctional rhythm	1	0.02	–	–	No
Left anterior fascicular block (age < 40 years)	2	0.03	1	0.05	No
Negative T wave in III	5	0.08	4	0.20	No
QRS voltage criteria for left ventricular hypertrophy*	9	0.14	2	0.10	No
Sinus bradycardia (HR ≥ 40 and < 60 bpm)	1551	24.68	492	24.71	No
Sinus tachycardia (HR > 100 bpm, not persistent at rest during physical examination)	123	1.96	31	1.56	No
Slightly broadened QRS complexes (133 ms)	1	0.02	–	–	No
Normal ECG	1959	31.17	1136	57.06	No
Total number of applicants	6284	100	1991	100	

¹ slight ST segment depressions of < 0.5 mm in depth, flat T waves or slight T wave inversions of < 1 mm in depth

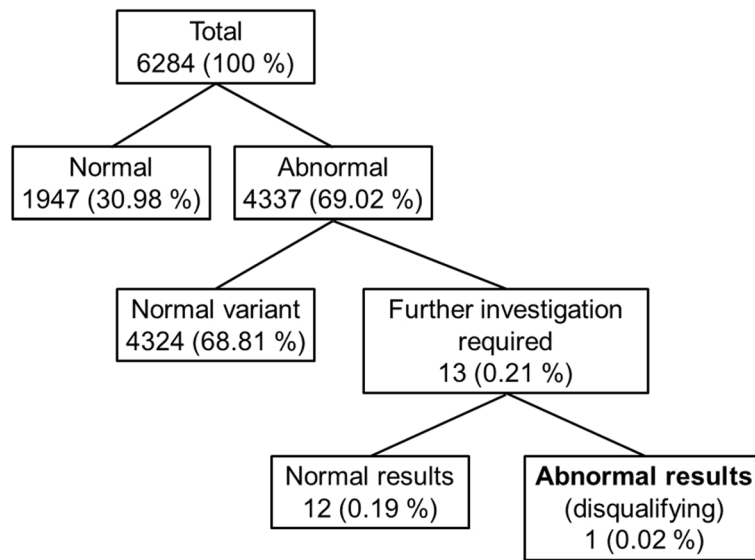


Fig. 1 Classification of ECG findings in pilot applicants

6284 ECGs of pilot applicants were assessed, 1947 of which were classified as entirely normal. 4337 ECGs presented abnormal findings described by the assessing physician, but only 13 (0.21%) required further investigation. The remainder were deemed as acceptable variants. One of the truly abnormal ECGs revealed a ventricular pre-excitation (delta wave) as a sign of an antegrade conducting accessory pathway. According to the aeromedical regulations of the German Armed Forces, this finding requires an invasive electrophysiological testing for further risk stratification, so this applicant was primarily assessed as unfit for flying duties. In the other

twelve cases, the cardiological evaluation did not reveal any abnormal result which indicated underlying cardiac disease.

Out of 1991 ECGs of non-pilot aircrew applicants, 1134 were assessed as normal, whilst 857 revealed abnormal results. Only five of these required further investigations which all showed normal results (see Fig. 2).

Further cardiological investigation of pilot and non-pilot aircrew applicants with abnormal resting ECG results included an exercise ECG in all cases, an echocardiogram in 14 cases, and Holter monitoring in 2 cases. In one non-pilot aircrew applicant a delta wave was

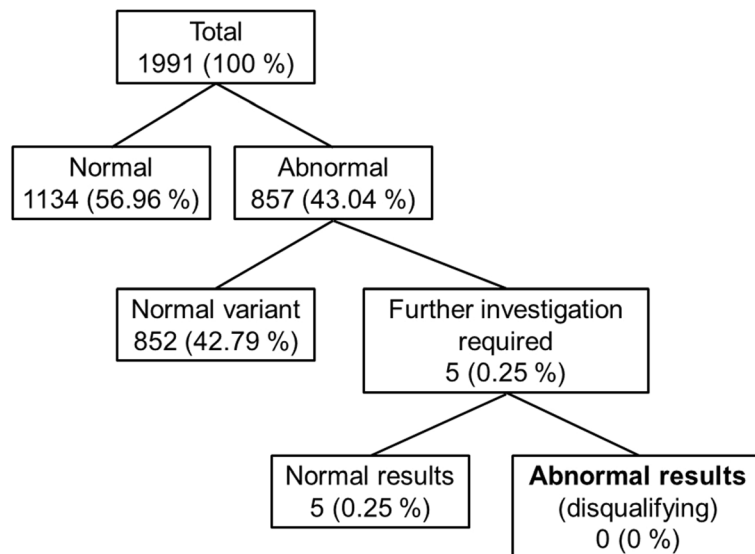


Fig. 2 Classification of ECG findings in non-pilot aircrew applicants

Table 4 ECG changes in pilots and non-pilot aircrew over a longitudinal period of 13.4 years. HR = heart rate; bpm = beats per minute; *n* = number; * = This myocardial infarction was already known from the patient's history; the proband would have been disqualified regardless of his ECG findings

ECG abnormality	N	Disqualification because of ECG finding
Intermittent ventricular pre-excitation, known from medical history	1	No
Single episode of atrial fibrillation with tachyarrhythmia	1	Yes
QRS voltage criteria for left ventricular hypertrophy	2	No
Escape beats with left bundle branch block morphology (one single episode)	1	No
Previous myocardial infarction	1	No*
Complete right bundle branch block (no progression from incomplete block)	1	No
Loss of R waves in precordial leads	1	Yes
Sinus bradycardia (< 40 bpm)	17	No
Negative T waves	3	No
Total	28	

identified, but an antegrade conducting accessory pathway was excluded by adenosine testing.

For the longitudinal analysis of pilots and non-pilot aircrew (*n* = 4839; initial age 30.1 years (IQR 18.8 years); median follow-up period 6.7 years (1 to 13.4 years)) a total of 25,829 resting ECGs were analyzed. We observed a change from a normal to an abnormal ECG requiring further investigation in only 28 individuals (0.6%) (Table 4). The median age of these probands was 44.4 years (IQR 16.0 years), when the abnormality was detected. Only two of these findings disqualified the individuals from flying duties; one was a single episode of atrial fibrillation with tachyarrhythmia (detected at 48.8 years of age), and the other, a loss of R waves in the precordial leads caused by a myocardial infarction (detected at 59.1 years of age). This myocardial infarction was not previously known and was diagnosed by computed tomography (CT) coronary angiography because of the ECG finding. Whilst the first proband subsequently returned to unrestricted flying duties (having had a single episode of atrial fibrillation caused by an infection), the second proband was disqualified from flying for the rest of his career. Complete right bundle branch block in one proband had been known for many years, a coronary artery disease had been excluded. The proband had a mild medically treated hypertension and underwent regular follow-ups with echocardiography and exercise ECG.

Discussion

This is, to the best of our knowledge, the largest analysis of screening ECGs of initial applicants for aircrew duties and of active aircrew members. The study retrospectively analyzed 8275 resting 12-lead ECGs of initial applicants for aircrew duties and 25,829 ECGs of active-duty aircrew in the German Air Force, Army and Navy, registered between 2007 and 2020. In summary, this analysis shows that only very few applicants show abnormal

ECGs disqualifying for aircrew duties. Screening ECGs of active aircrew also revealed very few disqualifying results registered in aircrew of advanced age.

The use of ECG screening is commonplace not only in aviation medicine but also in other high-hazard occupations such as law-enforcement, commercial diving, offshore working, fire fighting, and professional driving. Additionally, it is used for screening of professional athletes [11, 12]. In the occupational setting of aircrew, failing to identify silent cardiac disease may have catastrophic consequences. International recommendations for cardiological screening and ECG interpretation have therefore been published [1]. Criteria for normal and abnormal ECG changes were taken from guidelines and literature on ECG interpretation, but they are often based on the Seattle criteria for athletes [8–10]. According to these criteria, some ECG changes can be regarded as normal variants in young people because of their training, whilst others require further examination. The difference found between pilot and non-pilot applicants (Table 3) cannot be fully explained. It may be due to the younger average age, and/or better cardiopulmonary fitness and training condition in pilot applicants.

There are different requirements for ECG screening between civilian licensing authorities. The European Union, for example, requires ECG screening for a class 1 medical certificate (professional pilots), at the initial examination, then every 5 years until age 30, every 2 years until age 40, annually until age 50, and at all revalidation or renewal examinations thereafter. For a class 2 medical certificate (private pilots), it has to be carried out at the initial examination, at the first examination after age 40 and then at the first examination after age 50, and every 2 years thereafter [3]. According to the regulations issued by the Federal Aviation Administration (FAA) in the US, a 12-lead resting ECG is required for first-class medical certification (airline transport

pilot) at the first application after reaching the 35th birthday, on an annual basis after reaching the 40th birthday, and on a clinical indication. Without a clinical indication, second-class (commercial pilot) and third-class (private pilot) medical certification does not require a routine ECG [4].

Although most screening ECGs in asymptomatic individuals show normal results or likely normal physiological changes, there is a minority of individuals with ECG changes that are suggestive of genuine cardiac pathology, that may lead to disqualification or restriction [5, 13, 14]. False-positive results from ECG screening, however, should be minimized, as they may lead to unnecessary, time-consuming, and costly downstream evaluations. Additionally, labelling individuals with an uncertain diagnosis originating from a false-positive ECG finding can lead to psychological effects, as well as possible impact on insurance policies and employment. To avoid misinterpretation of screening ECGs, the published standardized criteria should strictly be followed [1, 9].

In our cohort, the prevalence of abnormal ECG findings requiring further investigation in applicants was comparatively low at 0.21 and 0.25% respectively, in pilots and non-pilot aircrew. Only a fraction of these findings led to disqualification from aircrew duties. However, civilian applicants for a military pilot career, as well as active soldiers applying for aircrew duties, are pre-selected personnel. They must undergo a basic medical examination, which does not include an ECG, but may exclude applicants with a cardiac disease by means of medical history and physical examination. Other studies evaluating the prevalence of abnormal ECG screening results in young and healthy soldiers found a prevalence between 0.6 and 7.0% [14, 15]. In a group of 32,652 young athletes (median age 17 years) undergoing pre-participation ECG screening, the prevalence of abnormal results was 11.8% [16]. Electrocardiographic parameters vary across different ethnicities and in comparison with international norms [15, 17]. It can be assumed that the prevalence of abnormal ECG results in our study was reduced by the basic medical examination prior to the aeromedical assessment in our institution. However, the detected abnormal results, such as the ventricular pre-excitation (delta wave), show that resting ECG screening for this high risk occupation can detect abnormalities that are likely to increase the risk of a sudden incapacitation in flight or other catastrophic events [18].

As in applicants for aircrew duties, screening ECGs of active pilot and non-pilot aircrew also revealed a low percentage of abnormalities that led to disqualification from aircrew duties (0.6%). This may be because aircrew are preselected personnel having passed the initial examination. They also have a distinctive health awareness

because of the continuous health education by the local flight surgeon and the GAFCAM, and because of their annual PME undertaken throughout their whole career. In the very few cases with disqualifying abnormalities in our cohort the ECG turned out to be a useful tool, which possibly prevented sudden incapacitation in flight. These abnormalities, however, were seen in aircrew of nearly 50 and nearly 60 years of age, respectively.

There is also a risk of false-negative ECG results, for example if cardiac pathology does not cause an ECG abnormality, such as premature coronary artery disease or anomalous coronary anatomy. Other examples that may not be detected on resting 12-lead ECGs include inherited cardiac conditions, that have not developed sufficiently to show an abnormal ECG; ECG abnormalities presenting intermittently or on provocation, such as borderline QT prolongation or Brugada ECG; or ECG abnormalities that are not seen at rest, e.g., rate related bundle branch block. It is generally difficult to verify false-negative ECG results; and with the data in our study, it is impossible. However, there have been a number of autopsy studies in which coronary artery disease was detected in pilots post mortem, which was previously undetected [19, 20].

It is also very difficult to perform a cost benefit analysis that includes false-negative ECG results. However, due to its low sensitivity and specificity, it has been calculated that each air accident prevented by ECG screening costs over 100 million euro [13, 21]. Despite of this poor cost benefit relationship, many authors argue for resting ECG screening because it has been shown to be more sensitive in detecting cardiovascular disease than medical history or physical examination either alone or in combination, and because sudden incapacitation and/or sudden cardiac death of a pilot commanding an aircraft is a devastating event [14].

Based on our assessment, it may be reasonable to perform an ECG at the initial examination at least of pilots, then for all aircrew at the age of 40 years, 45 years, and 50 years, and every 2 years thereafter. As in other studies [14–17] the proportion of abnormal findings in screening ECGs was higher than in our cohort, significantly more data would be needed to completely abandon initial screening ECGs in young pilot applicants.

The presented study has strengths and some limitations. One of the strengths is the comprehensive analysis of a large sample of resting ECG results over a long period of time. The examinations were performed under constant and standardized conditions. As a 12-lead resting ECG is an obligatory part of every aeromedical assessment for aircrew, every single proband was captured. An additional strength of the study was the measurement of ECG intervals and heart rate leading to the detection of ECG changes, which in our cohort were

regarded as normal variants and did not cause disqualification or restriction.

A limitation of this study is the bias that is inherent in the preselection of the applicants by a basic medical examination prior to aeromedical assessment. This preselection, mainly consisting of a medical history and a basic physical examination, may have reduced the prevalence of abnormal results compared to other studies. It may be assumed, however, that individuals with known cardiovascular diseases would probably not apply for a career as a military pilot. This kind of preselection may therefore be typical for aeromedical assessment. One additional important limitation of our study may be the fact that ECG intervals were measured automatically, but the overall ECG interpretation had to be done by the AME. Although all the AMEs were experienced in ECG interpretation, their skills and experience might have been variable. Modern computerized algorithms for ECG assessment might be useful to obtain objective results. The accuracy and plausibility of these automated results, however, should be verified by an experienced physician.

Conclusions

Our retrospective analysis of screening ECGs from pilot and non-pilot aircrew applicants as well as the longitudinal analysis of screening ECGs from active pilot and non-pilot aircrew over a maximum period of 13.4 years revealed a very low yield of abnormal findings requiring further investigation or even disqualification for aircrew duties. Despite the low prevalence of ECG findings indicating silent cardiac disease, certain high-hazard occupations with a very low risk tolerance, including pilots, justify initial ECG screening given the potentially disastrous consequences of failing to identify cardiac conditions that may potentially lead to sudden incapacitation or even sudden cardiac death.

However, our study suggests that relevant abnormalities in follow-up ECGs are rare and occur particularly in older pilots. This would appear to justify screening ECGs at certain intervals, starting at a certain age (e.g., above 40), but regular routine ECG screening of applicants in professions with a higher risk tolerance or frequent, e.g., annual follow-up ECGs in younger aircrew is not supported by our data.

Abbreviations

AV: Atrioventricular; BMI: Body mass index; bpm: Beats per minute; CT: Computed tomography; ECG: Electrocardiogram; FAA: Federal aviation administration; GAFAM: German air force centre of aerospace medicine; HFM: Human factor and medicine; HR: Heart rate; IQR: Interquartile range; n: Number; PME: Periodic medical examination; QTc: Corrected QT-interval; RBBB: Right bundle branch block; yr: Years

Acknowledgements

The authors thank Group Captain Edward David Nicol, Consultant Cardiologist, Aviation Medicine Clinical Service, Centre of Aviation Medicine,

RAF Henlow (UK) for the critical review and suggestions made for the final version of this article.

Disclaimer

This paper reflects the opinion of the authors and not necessarily the opinion of the German Department of Defense or the Surgeon General of the Air Force.

Authors' contributions

NG and SS were responsible for the study protocol and NG for data collection. NG and SS did the statistical evaluation and interpretation of the data. NG was a major contributor in writing the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Funding

No funding was received for this study. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Availability of data and materials

The data that support the findings of this study are available from the Federal Ministry of Defense. Data are available on reasonable request.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

According to the regulations of the Bavarian Medical Association, the responsible authority for this study, a vote of the ethics committee was not necessary for this retrospective analysis.

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

Both authors declared that they are active Bundeswehr medical officers and work for the Federal Ministry of Defense.

Author details

¹German Air Force Centre of Aerospace Medicine, Cologne, Germany. ²Department of Cardiology, Justus Liebig University Giessen, University Hospital Giessen, Medical Clinic I, Giessen, Germany. ³Department of Occupational Medicine, Medical Faculty, Otto von Guericke University, Magdeburg, Germany.

Received: 27 April 2021 Accepted: 19 August 2021

Published online: 31 August 2021

References

1. Guettler N, Bron D, Manen O, Gray G, Syburra T, Rienks R, et al. Management of cardiac conduction abnormalities and arrhythmia in aircrew. *Heart*. 2019;105(Suppl 1):s38–49. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2018-313057>.
2. Chamley RR, Holdsworth DA, Rajappan K, Nicol ED. ECG interpretation. *Eur Heart J*. 2019;40(32):2663–6. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz559>.
3. European Union. Commission implementing regulation (EU) 2019/27 amending regulation (EU) no 1178/2011. Brussels, Belgium; 2019.
4. Federal Aviation Administration (FAA). Guide for aviation medical examiners. Washington, D.C., USA; 2020.
5. Boos CJ, Jamil Y, Park M, Moy W, Khanna V, Timperley AC, et al. Electrocardiographic abnormalities in medically screened military aircrew. *Aviat Space Environ Med*. 2012;83(11):1055–9. <https://doi.org/10.3357/asm.3276.2012>.
6. Ashley EA, Raxwal V, Froelicher V. An evidence-based review of the resting electrocardiogram as a screening technique for heart disease. *Prog Cardiovasc Dis*. 2001;44(1):55–67. <https://doi.org/10.1053/pcad.2001.24683>.
7. Sammito S, Gundlach N, Böckelmann I. Prevalence of cardiac arrhythmia under stress conditions in occupational health assessments of young military servicemen and servicewomen. *Mil Med*. 2016;181(4):369–72. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-15-00121>.
8. Corrado D, Pelliccia A, Heidbuchel H, Sharma S, Link M, Basso C, et al. Recommendations for interpretation of 12-lead electrocardiogram in the

- athlete. *Eur Heart J*. 2010;31(2):243–59. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehp473>.
9. Sharma S, Drezner JA, Baggish A, Papadakis M, Wilson MG, Prutkin JM, et al. International recommendations for electrocardiographic interpretation in athletes. *Eur Heart J*. 2018;39(16):1466–80. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw631>.
 10. Drezner JA. Standardised criteria for ECG interpretation in athletes: a practical tool. *Br J Sports Med*. 2012;46(Suppl 1):i6–8. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091703>.
 11. Pelliccia A, Zipes DP, Maron BJ. Bethesda conference #36 and the European Society of Cardiology Consensus Recommendations revisited a comparison of U.S. and European criteria for eligibility and disqualification of competitive athletes with cardiovascular abnormalities. *J Am Coll Cardiol*. 2008;52(24):1990–6. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2008.08.055>.
 12. Maron BJ, McKenna WJ, Danielson GK, Kappenberger LJ, Kuhn HJ, Seidman CE, et al. American College of Cardiology/European Society of Cardiology clinical expert consensus document on hypertrophic cardiomyopathy. A report of the American College of Cardiology Foundation task force on clinical expert consensus documents and the European Society of Cardiology Committee for practice guidelines. *J Am Coll Cardiol*. 2003;42(9):1687–713. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(03\)00941-0](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(03)00941-0).
 13. Mitchell SJ, Schenk CP. The value of screening tests in applicants for professional pilot medical certification. *Occup Med (Lond)*. 2003;53(1):15–8. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqg020>.
 14. Liesemer K, Flanagan R, Johnson E, Devenport M, Cartwright V, Puntel R. The role of screening electrocardiograms in the evaluation of ROTC cadets applying for flight status. *Mil Med*. 2010;175(7):525–8. <https://doi.org/10.7205/milmed-d-09-00090>.
 15. Ng CT, Ong HY, Cheok C, Chua TSJ, Ching CK. Prevalence of electrocardiographic abnormalities in an unselected young male multi-ethnic south-east Asian population undergoing pre-participation cardiovascular screening: results of the Singapore armed forces electrocardiogram and echocardiogram screening protocol. *Europace*. 2012;14(7):1018–24. <https://doi.org/10.1093/europace/eur424>.
 16. Pelliccia A, Culasso F, Di Paolo FM, Accettura D, Cantore R, Castagna W, et al. Prevalence of abnormal electrocardiograms in a large, unselected population undergoing pre-participation cardiovascular screening. *Eur Heart J*. 2007;28(16):2006–10. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehm219>.
 17. Sia C-H, Dalakoti M, Tan BYQ, Lee ECY, Shen X, Wang K, et al. A population-wide study of electrocardiographic (ECG) norms and the effect of demographic and anthropometric factors on selected ECG characteristics in young, southeast Asian males—results from the Singapore armed forces ECG (SAFE) study. *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2019;24(3):e12634. <https://doi.org/10.1111/anec.12634>.
 18. Davenport ED, Rupp KAN, Palileo E, Haynes J. Asymptomatic Wolff-Parkinson-white pattern ECG in USAF aviators. *Aerosp Med Hum Perform*. 2017;88(1):56–60. <https://doi.org/10.3357/AMHP.4569.2017>.
 19. Dumser T, Borsch M, Wonhas C. Coronary artery disease in aircrew fatalities: morphology, risk factors, and possible predictors. *Aviat Space Environ Med*. 2013;84(2):142–7. <https://doi.org/10.3357/ASEM.3352.2013>.
 20. Taneja N, Wiegmann DA. Prevalence of cardiovascular abnormalities in pilots involved in fatal general aviation airplane accidents. *Aviat Space Environ Med*. 2002;73:1025–30.
 21. Saundby RP. ECG screening of private pilots, a cost benefit analysis. Lausanne: Fédération Aéronautique Internationale (Commission Internationale Medico-Physiologique); 1994.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions



Exercise ECG for Screening in Military Aircrew

Norbert Guettler; Edward D. Nicol; Stefan Sammito

- INTRODUCTION:** The exercise electrocardiogram (ExECG), or stress test, is a widely used screening tool in occupational medicine designed to detect occult coronary artery disease, and assess performance capacity and cardiovascular fitness. In some guidelines, it is recommended for high-risk occupations in which occult disease could possibly endanger public safety. In aviation medicine, however, there is an ongoing debate on the use and periodicity of ExECG for screening of aircrew.
- METHOD:** In the German Armed Forces, aircrew applicants and active-duty aircrew undergo screening ExECG. We analyzed 7646 applicant ExECGs (5871 from pilot and 1775 from nonpilot applicants) and 17,131 ExECGs from 3817 active-duty pilots. All were performed at the German Air Force Centre of Aerospace Medicine (GAFCAM) and analyzed for ECG abnormalities, performance capacity, blood pressure, and heart rate response.
- RESULTS:** Only 15/5871 (0.2%) of pilot applicants required further investigation and none were ultimately disqualified for aircrew duties due to their ExECG results. Of the nonpilot applicants, 22/1775 (1.2%) required further diagnostic work-up due to their ExECG findings, with only 1 ultimately disqualified. From active-duty pilots, 84/17,131 (0.5%) ExECGs revealed findings requiring further investigation, with only 2 pilots ultimately disqualified from flying duties.
- DISCUSSION:** The extremely low yield of ExECG findings requiring further evaluation and/or disqualification for aircrew duties suggest its use is questionable and not cost-effective as a screening tool in this cohort. It may be enough to perform ExECG on clinical indication alone.
- KEYWORDS:** exercise ECG, exercise stress test, screening, aircrew, aerospace medicine.

Guettler N, Nicol ED, Sammito S. *Exercise ECG for screening in military aircrew. Aerosp Med Hum Perform.* 2022; 93(9):666–672.

IP: 91.221.59.25 On: Fri, 14 Oct 2022 09:27:30

Copyright: Aerospace Medical Association

Delivered by Ingenta

Exercise electrocardiography (ExECG), often called exercise stress test, is a widely used screening tool in occupational medicine. It is mainly used for the diagnosis of occult coronary artery disease and to identify possible health risks via the assessment of performance capacity and physical performance ability.²³ ExECG is widely available, comparatively inexpensive, but much more elaborate and time consuming than a resting electrocardiogram (ECG).

According to the 2002 American College of Cardiology and American Heart Association guideline update for exercise testing, ExECG has a class IIb indication for the evaluation of asymptomatic men older than 45 yr and women older than 55 yr, involved in occupations with possible impact on public safety, or at high risk for coronary artery disease.¹⁵ The German Cardiac Society recommends an ExECG for individuals before the start of physical training, or as an occupational indication for professions in which a cardiovascular disease could endanger public safety (class IIa indication), without defining a minimum age.²² According to Austrian guidelines, ExECG in asymptomatic individuals is indicated for the assessment of cardiovascular

fitness in individuals with cardiovascular risk factors (class I indication), and for the assessment of cardiovascular fitness and the regulation of endurance training in all physically active persons (class IIa indication).²⁸ In sports medicine, ExECG is often recommended for cardiovascular screening in those over 35 yr old undertaking leisure or competitive sports, particularly in those with high cardiovascular risk.^{3,25,33}

The use of ExECG is different between occupations, employers, and agencies. Some professions require ExECG for primary screening, like firefighters wearing respiratory equipment, whereas others (such as the Royal Air Force in the UK) use it for

From the German Air Force Centre of Aerospace Medicine, Cologne, Nordrhein-Westphalia, Germany.

This manuscript was received for review in January 2022. It was accepted for publication in June 2022.

Address correspondence to: Lt.Col. Ass.-Prof. Dr. Stefan Sammito, German Air Force Centre of Aerospace Medicine, Flughafenstraße 1, 51147 Cologne, Germany; stefansammito@bundeswehr.org.

Reprint and copyright © by the Aerospace Medical Association, Alexandria, VA.

DOI: <https://doi.org/10.3357/AMHP.6051.2022>

advanced screening in case of a suspect medical history, or when there are abnormalities in either physical examination or resting ECG.

In aviation medicine, most licensing authorities use ExECG for further diagnostic workup on clinical indication.^{11,12} In some nations this is different for military aircrew because of the demanding working environment with many physical stressors, especially in high performance aircraft.²⁷ All German military aircrew undergo routine ExECG during their initial screening as well as during periodic medical examinations (PME). However, there has been an ongoing debate on the use of routine ExECG for all age groups and, if used, on the appropriate examination intervals.

In this longitudinal cohort study, we analyzed the percentage of abnormal ExECGs requiring further diagnostic workup and the percentage of results which had an influence on aeromedical disposition. The aim of the study was to determine whether annual ExECGs during PME result in relevant numbers of pathological findings disqualifying pilots for flying duties.

METHODS

Subjects

All German military pilot applicants and licensed nonpilot aircrew applicants are medically screened at the German Air Force Centre of Aerospace Medicine (GAFCAM). Active-duty German Air Force, Army, and Navy pilots, as well as weapon system officers on fast jets, also undergo PME at GAFCAM; other nonpilot aircrew have their PME locally and are not included in this analysis. For the purpose of this analysis, weapon system officers on fast jets are classified as pilots. Examination intervals at the GAFCAM are 3 years for pilots up to 40 yr of age, with annual examinations by the local flight surgeons in the intervening years. Pilots above 40 yr of age are examined annually at the GAFCAM.

Procedure

All the examinations at the GAFCAM, initial screening as well as PME, include a 12-lead resting ECG and ExECG. Prior to ExECG, aircrew are assessed clinically, their medication noted, physically examined, and informed about the procedure. Written informed consent was obtained. The ergometry operating system is a custo-med ec5000mobil provided by Promedia Medizintechnik A. Ahnfeldt GmbH, Siegen, Germany. The semireclining bicycle ergometer (ergoselect 1000, Ergoline GmbH, Bitz, Germany) can be adjusted from a horizontal position (resting ECG) up to a 45° angle (ExECG).

A standardized stress protocol is used with an initial performance level for men of 100 W with an increase by 50 W every 3 min. For women the initial performance level is 75 W with an increase by 25 W every 2 min. Modifications depending on weight and condition of the proband are possible. Usually 220 bpm minus age is used as the maximum heart rate (HR).¹³

A 12-lead ECG is registered throughout the whole test, printed for each performance step, and in case of arrhythmias.

HR and ST segment changes are measured continuously and captured at each step. Blood pressure (BP) is measured automatically after each step and rechecked manually. Maximum physical working capacity (PWC_{max}) is calculated by the ratio of maximum performance level (in W) divided by body weight (in kg).

A total of 7646 ExECGs from aircrew applicants were registered between February 2007 and June 2020 and were retrospectively analyzed (5871 from pilot applicants and 1775 from nonpilot applicants). Additionally, 17,131 ExECGs from 3817 pilots were captured for a longitudinal analysis.

Endpoints for the study analysis were the number of resting ECG abnormalities, stress-induced ECG changes, blood pressure, and heart rate response to exercise. ECG abnormalities were categorized into normal variants, those requiring further investigation, and those disqualifying for aircrew duties. In addition to the descriptive analysis of every ECG result resulting in disqualification of the pilot, his age and medical history were individually analyzed. Resting ECGs were categorized according to the Seattle criteria published for athletes^{9,31} and the criteria published by the North Atlantic Treaty Organization (NATO) Occupational Cardiology in Military Aircrew Working Group published in 2019.¹⁷ Stress induced ECG changes were analyzed according to current ExECG guidelines and current literature.^{15,21,32} Stress induced hypertension was diagnosed if the resting blood pressure was within normal limits and the blood pressure at a stress level of 100 W exceeded 200/100 mmHg (215/105 mmHg if above age 50),⁶ although there is currently no consensus on normal blood pressure response during exercise.^{30,34} An impaired HR recovery was stated if the difference between maximum HR and HR after 1 min of recovery was less than 12 bpm.^{1,19,20}

Including a short clinical history and examination prior to the test, and informed consent being taken, an ExECG takes about 30 min. According to the German Scale of Medical Fees, an ExECG costs 59.66 Euros.⁴

Statistical Analysis

Statistical analysis was conducted using IBM SPSS Statistics for Windows 24 (Released 2016, IBM Corp., Armonk, NY, USA). Data analysis was primarily descriptive. The Kolmogorov-Smirnov test revealed none of the nominal scale parameters was normally distributed, so median and interquartile range (IQR) were calculated. Differences were analyzed with Pearson's Chi-squared test and, for independent samples, Mann-Whitney *U*-test was used. Significance level was defined as $P < 0.05$.

According to the regulations of the Bavarian Medical Association, the responsible authority for this study, a vote of the ethics committee was not necessary for this retrospective analysis without any risk to the participants. All data was analyzed as pseudonymized records.

RESULTS

Baseline characteristics of aircrew applicants and their PWC_{max} are illustrated in **Table I**. **Table II** shows the ExECG

Table I. Baseline Characteristics of the Included Pilot and Nonpilot Applicants.

	PILOT AIRCREW	NONPILOT AIRCREW
Number	5871	1775
Age (years)	20.0 (3.0)	28.3 (9.8)
Sex		
male, N (%)	5696 (97.0)	1404 (79.1)
female, N (%)	175 (3.0)	371 (20.9)
Height (cm)	180.3 (8.9)	178.5 (10.8)
Weight (kg)	75.0 (13.4)	79.2 (17.3)
BMI (kg · cm ⁻²)	23.0 (3.5)	24.8 (4.3)
Maximum performance level (W)	250 (25)	200 (50)
Maximum performance level in relation to body weight (W · kg ⁻¹)	3.2 (0.6)	2.8 (0.6)

N = number; BMI = body mass index.

Age, height, weight, and BMI, maximum performance level in W, and maximum performance level in W in relation to body weight in kg [physical working capacity (PWC)] are all given as median [interquartile range (IQR); 25–75%].

Table II. ExECG Findings in Pilot and Nonpilot Aircrew Applicants.

ExECG findings	PILOTS		NONPILOT AIRCREW		FURTHER INVESTIGATION REQUIRED
	N	%	N	%	
Single premature ventricular complex	2	0.03	3	0.17	no
Single premature atrial complex	1	0.02	3	0.17	no
Single ventricular couplet	1	0.02	1	0.06	no
Insignificant ST / T segment changes	3	0.05	2	0.11	no
Negative T wave in III	1	0.02	0	0	no
Ventricular preexcitation	0	0	1	0.06	yes
Presyncope	0	0	1	0.06	yes
Excessive rise in heart rate	2	0.03	1	0.06	no
Impaired heart rate recovery	90	1.53	26	1.46	no
Stress induced hypertension	14	0.24	19	1.07	yes
Hypertension, at rest and stress induced	1	0.02	0	0	yes
Hypertension, insufficiently treated by medication	0	0	1	0.06	yes ¹
Normal ExECG	5759	98.09	1719	96.85	no
Total number of ExECG findings	5874	100.05	1777	100.11	
Total number of applicants	5871	100	1775	100	

The total number of findings slightly exceeds the number of applicants, as some applicants had >1 finding. Percentages are calculated in relation to the number of applicants.

ExECG = exercise electrocardiogram; N = number.

¹This airman was assessed as temporarily unfit for flying duties.

findings of pilot and nonpilot applicants, over 98% of which were entirely normal. Abnormal findings were categorized into those representing normal variants and/or not requiring further investigation, and those requiring further investigation. No pilot applicant was ultimately classified as unfit for flying duties due to his ExECG (see **Fig. 1**). A single nonpilot applicant was assessed as (temporarily) unfit due to hypertension (see **Fig. 2**).

In both cohorts the abnormal results requiring further investigation were related to hypertension, and further diagnostic workup consisted of ambulatory blood pressure monitoring, which was ultimately normal in all cases. In the nonpilot aircrew cohort, the applicant with stress-induced hypertension received ambulatory blood pressure monitoring, which was also normal. One recruit was medically treated because of known arterial hypertension. In this case, ambulatory blood pressure monitoring revealed insufficient treatment, so he was assessed as temporarily unfit. One nonpilot aircrew applicant with ventricular pre-excitation received a cardiological examination including echocardiography and Holter recording. As he had been completely asymptomatic and his proposed role had no direct influence on flight safety, he was assessed as fit for flying duties. The applicant with presyncope during ExECG received a cardiological examination including echocardiography, Holter monitoring, and a test of his circulatory function. The ExECG was repeated a few weeks later, and he was not allowed to fly during diagnostic workup. As his subsequent tests were normal and he had no further symptoms, he was ultimately assessed as fit for flying duties.

For the longitudinal analysis of active-duty pilots, 17,131 ExECGs from 3817 pilots were captured with a median follow-up period of 5.1 yr (0.0 to 13.2 yr). Of these 17,131 ExECGs, 98% were classified as entirely normal, 1.5% were regarded as normal variants not requiring further investigation, and 0.5% required further examination. Ultimately only 1 in 2000 of those pilots assessed had ExECG findings that resulted in disqualification from flying duties. The median age of those with normal ExECG [42.0 yr (19.8 to 67.1 yr; IQR 16.0 yr)] vs. those with abnormal ExECG [42.9 yr (21.8 to 62.9 yr; IQR 18.7 yr)] was not significantly different ($P = 0.456$). The median age of those requiring further evaluation was 43.9 yr (21.4 to 60.9 yr; IQR 13.9 yr) and the two pilots disqualified from flying duties were 35.8 and 46.7 yr of age. ExECG findings of the active-duty pilots and the longitudinal analyses are shown in **Table III**.

The classification of ExECG findings in active-duty pilots included in the longitudinal analysis is shown in **Fig. 3**. Of the 17,131 ExECGs included in the longitudinal analysis, only 84 required further evaluation. In the cases of ST segment/T wave changes, this was done using cardiac computed tomography consisting of coronary artery calcium scoring and computed tomography coronary angiography, and an echocardiogram. In cases of obstructive coronary artery disease (CAD) with stenoses of more than 50%, functional testing for ischemia and/or invasive coronary angiography was also undertaken. The assessment of arrhythmias included Holter recording in addition to echocardiography and an evaluation of the coronary

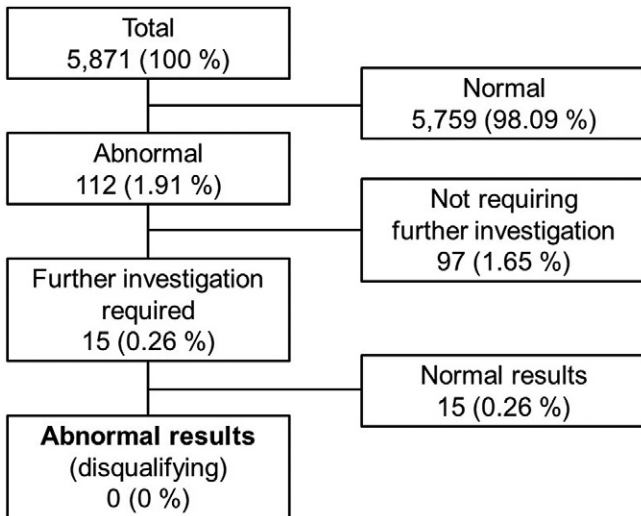


Fig. 1. Classification of ExECG findings in pilot applicants. ExECG = exercise electrocardiogram. All percentages were calculated in relation to the 5871 participants.

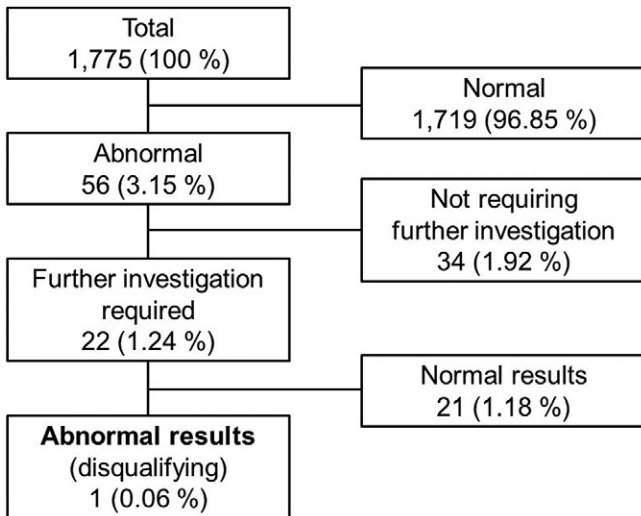


Fig. 2. Classification of ExECG findings in nonpilot aircrew applicants. ExECG = exercise electrocardiogram. All percentages were calculated in relation to the 1775 participants.

arteries, especially in aircrew above 40 yr of age. Exercise-induced hypertension was further evaluated by ambulatory blood pressure monitoring.

Of the 84 ExECG findings requiring further evaluation, only 2 pilots were disqualified, both secondary to ST depression on ExECG and obstructive CAD on subsequent examinations. Using the German Scale of Medical Fees, the total cost of ExECG in recruits and active-duty pilots, assessed at GAFCAM, over the period of assessment was 1.45 million Euros and took nearly 12,400 h (or 4 yr, if an 8-h working day) of clinician time to undertake (pilot recruits over the period of analysis was nominally 350,263 Euros and took 2936 h at GAFCAM, with nonpilot applicants costing 105,897 Euros, taking 888 h). Over the 13 yr of observation for PME for pilots' ExECG, the nominal cost was 1,022,035 Euros, delivered over 8565 h. This means

Table III. ExECG Findings of Pilots Included in the Longitudinal Analysis.

ExECG findings	ExECG		FURTHER INVESTIGATION REQUIRED
	N	%	
Insignificant ST / T segment changes	16	0.09	no
Significant ST / T segment changes	5	0.03	yes ¹
Single premature ventricular complex	16	0.09	no
Single premature atrial complex	4	0.02	no
Single ventricular couplet	1	0.01	no
Frequent premature ventricular complexes (> 10)	4	0.02	yes
Frequent premature atrial complexes (> 10)	1	0.01	yes
Incomplete right bundle branch block	8	0.05	no
Complete right bundle branch block	1	0.01	yes
Intermittent complete right bundle branch block	2	0.01	yes
First degree AV block	2	0.01	no
Exercise-induced hypertension	61	0.36	yes
Hypertension, at rest and exercise-induced	2	0.01	yes
Borderline blood pressure	2	0.01	no
Diastolic hypertension	3	0.02	no
Hypertension with insufficient medical treatment	3	0.02	yes
Situational hypertension	1	0.01	no
Impaired heart rate recovery	224	1.31	no
Excessive rise in heart rate	5	0.03	no
Normal ExECG	16,779	97.9	no
Total number of ExECG findings	17,140	100.05	
Total number of ExECG	17,131	100	

ExECG = exercise electrocardiogram; N = number; AV = atrioventricular.

Percentages are calculated in relation to the total number of ExECGs.

¹Two pilots with distinctive ST segment depression were disqualified for flying duties, as further evaluation revealed obstructive coronary artery disease.

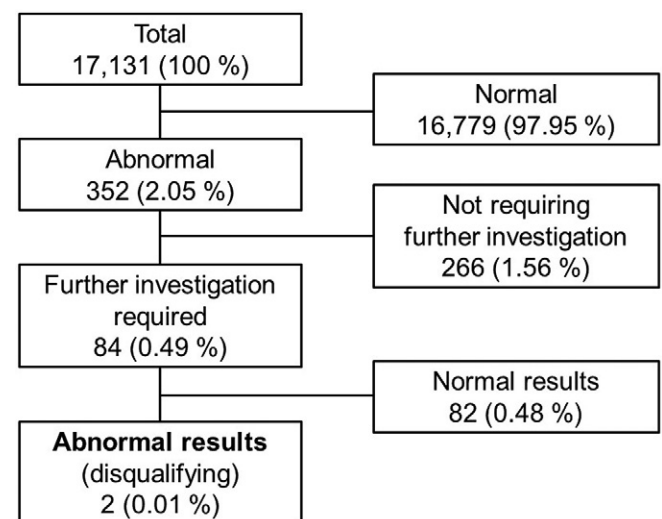


Fig. 3. Classification of ExECG findings in aircrew included in the longitudinal analysis. ExECG = exercise electrocardiogram.

that in recruits the cost per positive finding requiring further investigation was 2545 Euro, with one abnormality detected on average every 6 full days of testing, leading to a single disqualification (at a cost of 456,000 Euros).

For PME ECG in active pilots, the cost of ExECG per individual requiring further investigation is approximately 11,900 Euros, with one abnormality requiring further investigation identified every 13th d of full-time testing. Ultimately, with only two pilots being disqualified/limited in their duties, this equates to 500,000 Euros per case and a disqualifying/occupationally limiting finding detected every year and a half.

DISCUSSION

In this study, we analyzed ExECG screening in aircrew (pilot and nonpilot) applicants as well as ExECGs in the PME of active-duty pilots in a longitudinal analysis. It is, to the best of our knowledge, the largest analysis of ExECG screening in aircrew. We found no abnormal results in the ExECGs of applicants for flying duties, with only one in a nonpilot crewmember (0.06% of all ExECGs in this group). Over a median follow-up period of 5.1 yr, only two pilots were detected with a relevant change in their ExECG results over their career (0.02% of all examined ExECGs). In total, the percentage of abnormal ExECGs in this specific occupational group is very low.

In all age groups, ExECG is used for an assessment of performance capacity and the diagnosis of occult coronary artery disease, with the latter gaining greater importance in older age groups. ExECG as a screening tool is widely available and comparatively inexpensive, but much more elaborate and time consuming than a resting ECG. Interpretation of ExECG is complex and should comprise assessment of all acquired parameters, including ECG analysis, HR, BP, and maximum performance level. Over-interpretation, leading to an excess of false-positive results, should be avoided, especially in young people, as it could lead to costly, time-consuming, and fruitless examinations. Although ExECG has shortcomings as a screening tool for CAD, particularly in younger age groups with a low pretest probability, it provides useful risk-stratification information, including blood pressure response to exercise,^{2,5,24} observation of exercise-related arrhythmia and bundle branch blocks, and measurement of aerobic fitness.¹⁶ An excessive rise in HR or an impaired HR recovery can indicate insufficient training or latent disease, although both must be interpreted with caution.^{7,14,23}

In contrast to possible false-positive ECG findings, there may also be false-negative results; but the number of these cannot be estimated by our data. There have been autopsy studies on aircrew after aircraft accidents which found significant CAD in aircrew that was not diagnosed previously, despite PME investigations, and that did not cause the aircraft accident and/or the pilot's death.¹⁰ A Federal Aviation Administration analysis of medical incapacitation (unable to perform flight duties) and impairment (able to perform limited flight duties) in U.S. airline pilots between 1993 and 1998 found 39 episodes of

incapacitation and 11 of impairment aboard 47 aircraft.⁸ The in-flight medical event rate was 0.058 per 100,000 flight hours. The probability that an in-flight medical event would result in an aircraft accident was 0.04 per year. Of the 39 in-flight medical incapacitations, five were related to the cardiovascular system. Three were fatal myocardial infarctions and one a fatal dysrhythmia, while one involved a nonfatal coronary spasm. Of 11 medical impairments, 1 was cardiovascular, a retrosternal chest pain case, clinically presenting as unstable angina.

Another analysis was carried out by the Australian Transport Safety Bureau that included pilots involved in accidents and incidents from January 1975 to March 2006.²⁶ Of 10 accidents resulting in fatalities, all involved single-pilot operations and, in half of these, cardiovascular conditions were identified as a significant contributing factor. Only one fatal accident involved a commercial charter operation. These studies show that it is very rare that cardiovascular disease leads directly to fatal aircraft accidents. Compared to other diseases, however, it plays an important role in aeromedical risk assessment. The strict regulations, especially in commercial flying, and the use of restriction of those with elevated cardiovascular risk to dual pilot operations, means that the risk of fatal events secondary to cardiovascular disease can be minimized.

In our cohort of initial applicants, the yield of ExECG results leading to further evaluation or even disqualification was extremely low. Therefore, it is questionable if an ExECG is cost-effective as an initial screening tool for young aircrew applicants. An alternative would be a combination of medical history, physical examination with measurement of HR and BP, and a 12-lead resting ECG (such as undertaken by the UK Royal Air Force), at least for aircrew roles with a low risk tolerance.¹⁸ A physical fitness test could be added by the employer for an evaluation of cardiovascular fitness and maximum performance level. Such a physical fitness test (without ECG registration) is already used for the screening of firefighters and soldiers in many armed forces and has been shown to correlate significantly with performance capacity during ExECG.²⁹

The longitudinal analysis of ExECGs from pilot PMEs also revealed a very low yield of findings requiring further investigation or disqualification from flying duties. There were only two individuals (35.8 and 46.7 yr of age) with ST segment depression indicative for CAD, who were ultimately disqualified for flying duties secondary to significant CAD.

The greatest proportion of abnormal findings in our cohort consisted of stress-induced hypertension that did not directly lead to disqualification from flying duties. Although important to identify as early as possible from a preventive perspective, the use of a yearly ExECG is questionable. In summary, the low yield of findings influencing flying status suggests it would be reasonable to perform ExECG only on clinical indication as recommended by the European Aviation Safety Agency.¹¹

The presented study has strengths and some limitations. One of the strengths is the comprehensive analysis of a large sample of ExECG results over a long duration. The examinations were performed under standardized conditions. As an ExECG is an obligatory part of every aeromedical assessment

for aircrew, every single applicant and active-duty pilot in the German Armed Forces was captured. An additional strength of the study was the automatic registration and calculation of important parameters by the software used with a second level assessment by the examining physician to ensure all the parameters were checked for plausibility.

A limitation of this study is the preselection of the applicants by a basic medical examination prior to aeromedical assessment. This preselection, mainly consisting of a medical history and a basic physical examination, may have reduced the prevalence of abnormal results compared to other studies. It can be assumed, however, that individuals with known cardiovascular disease would probably not apply for a career as a military pilot. This kind of preselection may, therefore, be typical for aeromedical assessment. One additional important limitation of our study may be the fact that ExECG parameters were measured automatically, but the overall interpretation had to be done by the Aviation Medical Examiner. Although all the Aviation Medical Examiners were experienced in ExECG interpretation, their skills and experience might have been variable. Modern and elaborate computerized algorithms for ExECG interpretation might be useful to obtain objective results.

In conclusion, we analyzed ExECG for the initial screening of pilot and nonpilot applicants, and in asymptomatic pilots as part of their PME. The yield of abnormal ExECG results influencing aeromedical assessment and leading to further evaluation and/or disqualification for aircrew duties was extremely low in both groups. Therefore, it is questionable if the benefit for aeromedical assessment outweighs the costs and the expenditure of time for such an examination. For initial applicants a resting ECG, in combination with medical history and physical examination, may well be an appropriate alternative. Additionally, a physical fitness test could be performed by the employer to assess cardiovascular fitness. For active-duty pilots it may be enough to carry out an ExECG as part of an advanced cardiological investigation on clinical indication as recommended by European Aviation Safety Agency regulations and with other air forces, such as the UK. Such indications could include pilots over the age of 40 yr with high cardiovascular risk according to a risk calculator, diagnosed with mild CAD, or those who have undergone revascularization for CAD. The intervals between ExECGs should be a case-based decision.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper reflects the opinion of the authors and not necessarily the opinion of the German Ministry of Defense or the Surgeon General of the German Air Force.

Financial Disclosure Statement: The authors have no competing interests to declare.

Authors and Affiliations: Norbert Guettler, MBA, MA, German Air Force Centre of Aerospace Medicine, Fuerstenfeldbruck, and Department of Cardiology, Justus Liebig University, University Hospital Giessen, Medical Clinic I, Giessen, Germany; Edward D. Nicol, M.D., MBA, Department of Cardiology, Royal Brompton Hospital, and Faculty of Medicine, Imperial College, London, United Kingdom; and Stefan Sammito

(ORCID: 0000-0001-5605-1040), Assistant Professor, German Air Force Centre of Aerospace Medicine, Cologne, and Department of Occupational Medicine, Medical Faculty, Otto von Guericke University, Magdeburg, Germany.

REFERENCES

1. Aktas MK, Ozduran V, Pothier CE, Lang R, Lauer MS. Global risk scores and exercise testing for predicting all-cause mortality in a preventive medicine program. *JAMA*. 2004; 292(12):1462–1468.
2. Allison TG, Cordeiro MA, Miller TD, Daida H, Squires RW, Gau GT. Prognostic significance of exercise-induced systemic hypertension in healthy subjects. *Am J Cardiol*. 1999; 83(3):371–375.
3. Borjesson M, Serratos L, Carre F, Corrado D, Drezner J, et al. Consensus document regarding cardiovascular safety at sports arenas: position stand from the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation (EACPR), section of Sports Cardiology. *Eur Heart J*. 2011; 32(17):2119–2124.
4. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Gebührenordnung für Ärzte (GOÄ): Last Update BGBI I: 1470. Berlin: Bundesministerium für Gesundheit; 2019.
5. Caselli S, Serdoz A, Mango F, Lemme E, Vaquer Segui A, et al. High blood pressure response to exercise predicts future development of hypertension in young athletes. *Eur Heart J*. 2019; 40(1):62–68.
6. Chatterjee M, Schmeißer G. Aktualisierter Leitfaden für die Ergometrie im Rahmen arbeitsmedizinischer Untersuchungen. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed*. 2017; 52:913–921.
7. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS. Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med*. 1999; 341(18):1351–1357.
8. DeJohn C, Wollbrink AM, Larcher JG. In-flight medical incapacitation and impairment of U.S. airline pilots: 1993 to 1998. Washington (DC): FAA; 2004. Report No.: DOT/FAA/AM-04/16.
9. Drezner JA. Standardised criteria for ECG interpretation in athletes: a practical tool. *Br J Sports Med*. 2012; 46(Suppl. 1):i6–i8.
10. Dumscher T, Borsch M, Wonhas C. Coronary artery disease in aircrew fatalities: morphology, risk factors, and possible predictors. *Aviat Space Environ Med*. 2013; 84(2):142–147.
11. European Union. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/27 amending Regulation (EU) No. 1178/2011. Brussels: European Union; 2019.
12. Federal Aviation Administration. Guide for aviation medical examiners. Washington (DC): FAA; 2020.
13. Fox SM 3rd, Naughton JP, Haskell WL. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann Clin Res*. 1971; 3(6):404–432.
14. Froelicher VF, Myers J. Exercise and the heart, 5th ed. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2006.
15. Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT, Chaitman BR, Fletcher GF, et al. ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines). *J Am Coll Cardiol*. 2002; 40(8):1531–1540.
16. Gray G, Davenport ED, Bron D, Rienks R, d'Arcy J, et al. The challenge of asymptomatic coronary artery disease in aircrew; detecting plaque before the accident. *Heart*. 2019; 105(Suppl. 1):s17–s24.
17. Guettler N, Bron D, Manen O, Gray G, Syburra T, et al. Management of cardiac conduction abnormalities and arrhythmia in aircrew. *Heart*. 2019; 105(Suppl. 1):s38–s49.
18. Guettler N, Sammito S. Electrocardiographic abnormalities in medically screened German military aircrew. *J Occup Med Toxicol*. 2021; 16(1):37.
19. Jolly MA, Brennan DM, Cho L. Impact of exercise on heart rate recovery. *Circulation*. 2011; 124(14):1520–1526.
20. Jouven X, Empana J-P, Schwartz PJ, Desnos M, Courbon D, Ducimetière P. Heart-rate profile during exercise as a predictor of sudden death. *N Engl J Med*. 2005; 352(19):1951–1958.
21. Kharabsheh SM, Al-Sugair A, Al-Buraiki J, Al-Farhan J. Overview of exercise stress testing. *Ann Saudi Med*. 2006; 26(1):1–6.

22. Klingenheben T, Löllgen H, Bosch R, Trappe H-J. Manual zum Stellenwert der Ergometrie [Manual on the clinical use of ergometry]. *Die Kardiologie*. 2018; 12(5):342–355.
23. Löllgen H, Leyk D. Exercise testing in sports medicine. *Dtsch Arztebl Int*. 2018; 115(24):409–416.
24. Miyai N, Arita M, Miyashita K, Morioka I, Shiraishi T, Nishio I. Blood pressure response to heart rate during exercise test and risk of future hypertension. *Hypertension*. 2002; 39(3):761–766.
25. Mont L, Pelliccia A, Sharma S, Biffi A, Borjesson M, et al. Pre-participation cardiovascular evaluation for athletic participants to prevent sudden death: Position paper from the EHRA and the EACPR, branches of the ESC. Endorsed by APHRS, HRS, and SOLAECE. *Eur J Prev Cardiol*. 2017; 24(1):41–69.
26. Newman D. Analysis of Medical Conditions Affecting Pilots Involved in Aircraft Accidents and Incidents: 1 Jan. 1975–31 March 2006. Canberra (Australia): Australian Government, Australian Transport Safety Bureau, Aviation Research and Analysis; 2007. Report No.: B2006/0170.
27. Nicol ED, Rienks R, Gray G, Guettler NJ, Manen O, et al. An introduction to aviation cardiology. *Heart*. 2019; 105(Suppl. 1):s3–s8.
28. Primus C, Auer J, Wonisch M. Praxisleitfaden Ergometrie. *Journal für Kardiologie [Austrian Journal of Cardiology]*. 2020; 27(1-2):38–42.
29. Sammito S, Gundlach N, Böckelmann I. Correlation between the results of three physical fitness tests (endurance, strength, speed) and the output measured during a bicycle ergometer test in a cohort of military servicemen. *Mil Med Res*. 2016; 3:12.
30. Schultz MG, Otahal P, Cleland VJ, Blizzard L, Marwick TH, Sharman JE. Exercise-induced hypertension, cardiovascular events, and mortality in patients undergoing exercise stress testing: a systematic review and meta-analysis. *Am J Hypertens*. 2013; 26(3):357–366.
31. Sharma S, Drezner JA, Baggish A, Papadakis M, Wilson MG, et al. International recommendations for electrocardiographic interpretation in athletes. *Eur Heart J*. 2018; 39(16):1466–1480.
32. Vaidya GN. Application of exercise ECG stress test in the current high cost modern-era healthcare system. *Indian Heart J*. 2017; 69(4):551–555.
33. Whitfield GP, Pettee Gabriel KK, Rahbar MH, Kohl HW. Application of the American Heart Association/American College of Sports Medicine Adult Preparticipation Screening Checklist to a nationally representative sample of US adults aged ≥ 40 years from the National Health and Nutrition Examination Survey 2001 to 2004. *Circulation*. 2014; 129(10):1113–1120.
34. Williams B, Mancia G, Spiering W, Agabiti Rosei E, Azizi M, et al. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension. *Eur Heart J*. 2018; 39(33):3021–3104.



IP: 91.221.59.25 On: Fri, 14 Oct 2022 09:27:30
 Copyright: Aerospace Medical Association
 Delivered by Ingenta

Cardiovascular risk profiles in German Air Force pilots

Stefan Sammito ,^{1,2} N Güttler¹

¹German Airforce Centre of Aerospace Medicine, Cologne, Germany

²Occupational Medicine, Otto von Guericke Universität Magdeburg, Magdeburg, Germany

Correspondence to

LtCol Stefan Sammito, Research & Development, German Airforce Centre of Aerospace Medicine, Cologne, Germany; drsammito@web.de

Received 26 July 2020

Revised 10 November 2020

Accepted 15 November 2020

ABSTRACT

Introduction Cardiovascular disease (CVD) is the leading cause of death in western industrial countries and one of the most frequent causes of sudden incapacitation in flight for pilots. There are limited data available on cardiovascular risk profiles of pilots, and especially military pilots. The aim of this study was to assess the prevalence of cardiovascular risk factors (CVRF) in German military pilots.

Methods The changing prevalence of CVRF in active military pilots was studied using a cross-sectional survey during two distinct periods, 2007–2009 and 2016–2018. Data collected included sex, body mass index (BMI), smoking status, resting blood pressure, total cholesterol, high density lipoprotein (HDL), low density lipoprotein (LDL), triglycerides and glucose. The use of antihypertensive drugs, diagnosis of diabetes mellitus and positive family history of myocardial infarction were also captured. Based on these data, the PROCAM (Prospective Cardiovascular Münster) score was calculated.

Results Data from 5353 flight medical examinations were analysed, 3397 from 2007 to 2009, and 1959 from 2016 to 2018. Between the cohorts, age, BMI, total cholesterol, HDL, LDL, glucose and triglycerides increased significantly. The number of pilots on antihypertensive medication decreased significantly. The PROCAM score increased between cohorts from 18 to 23 points predicting a 10-year risk of an acute coronary event of <1% and 1.3%, respectively.

Conclusion The German military pilot population has become older with increased CVRF. CVD will be a future challenge for the German Armed Forces and probably other military forces. However, there was only a mild increase of the PROCAM score over time.

INTRODUCTION

Cardiovascular disease (CVD) remains the leading cause of death in industrial countries worldwide.^{1,2} Chronic diseases, such as diabetes, hypertension, dyslipidaemia, positive family history of myocardial infarction and lifestyle factors including smoking and physical inactivity are the main risk factors for CVD.

Even without prior symptoms, coronary artery disease (CAD) can lead to an acute myocardial infarction with or without antecedent chest pain and haemodynamic instability. This can cause sudden incapacitation, or even sudden cardiac death, of pilots, leading to aircraft accidents and fatalities.^{3,4}

There are limited data about the prevalence of cardiovascular risk factors (CVRF) in pilots. Houston *et al* assessed 14 379 UK commercial pilots in a retrospective cross-sectional study and found a lower prevalence of obesity and current smoking

Key messages

- ▶ This cross-sectional survey of all active German military pilots demonstrates that the number of pilots decreased while the average age increased.
- ▶ As cardiovascular disease (CVD) and coronary artery disease are one of the most critical diseases for pilots, this will be a future challenge in the medical examination of pilots.
- ▶ On the other hand, military pilots have a high degree of health awareness and are closely monitored.
- ▶ In total, the CV risk profile as a whole was quite stable over time and better than in the general population.
- ▶ Monitoring of the CV risk profile will remain crucial for pilots and other high hazard occupations.

compared with the general population. However, the prevalence of overweight pilots was higher in males under 25 and over 35 years of age, and lower in females in the 25–34 and 45–54 age groups.⁵ The prevalence of hypertension was higher in younger male pilots below 45 years of age, where as it was lower in male pilots aged 45 and older. The authors concluded that pilots had a significantly lower prevalence of obesity and smoking, even when compared with the highest income quintile of the general population (controlling for social-economic status). A descriptive cross-sectional study on 614 civilian pilots in Colombia showed that the prevalence of CVRF was higher in class 2 (private pilots) than in class 1 pilots (professional pilots).⁶ There is only one study examining the prevalence of CVRF in military pilots. In a group of 250 active male Hungarian military pilots, they had a 5-year CVD risk below 2.5% and CVD risk did not exceed 15%–20% in the whole cohort.⁷ Interestingly, risk indices deteriorated in those aged 25–45 years, while they improved in the age group >45 years. The authors explained this finding with the strict physical fitness tests and screening examinations, and by military propaganda targeting health conservation, which was especially anchored in the minds of the older pilots, while many younger pilots left the Hungarian Air Force.

A study was conducted to define the cardiac event rate in US Air Force pilots between 1988 and 1992.⁸ This revealed that 38 cardiac events occurred in pilots while undertaking unrestricted flying roles (seven anginal episodes, 23 myocardial infarctions and eight sudden cardiac deaths). The 5-year annual cardiac event rate increased with age, although was lower than in the general population.



© Author(s) (or their employer(s)) 2020. No commercial re-use. See rights and permissions. Published by BMJ.

To cite: Sammito S, Güttler N. *BMJ Mil Health* Epub ahead of print: [please include Day Month Year]. doi:10.1136/bmjilitary-2020-001608

In 2013, a study of 21 German aircrew members without any signs of a CAD and who had died in aircraft fatalities, showed mild, moderate or severe CAD in two thirds of the autopsy results.⁹ Based on these autopsy results 48% would have been unfit for flying duties according to European civilian regulations at that time (JAR FCL-3).

Overall, there are very limited data on CVRF of professional pilots despite the ideal possibility of analysing data acquired from their periodic medical examinations (PME). This lack of data is especially true for military pilots.

The aim of this study was therefore to assess the prevalence of CVRF in German military pilots of all services (Air Force, Army and Navy), based on data acquired during their PME. All active German military pilots in the respective survey periods were included in this full sample survey. The 10-year CVD risk for each pilot was calculated for two 3-year periods between 2007 and 2009 and between 2016 and 2018.

METHODS

All German Air Force, Army and Navy pilots have PME undertaken at the Air Force Centre of Aerospace Medicine in Fuerstenfeldbruck, Germany. The examination interval for pilots up to 40 years of age is 3 years, with annual examination by the local flight surgeon in the intervening years. Pilots above 40 years of age are examined by the Air Force Centre of Aerospace Medicine annually. If indicated examination intervals can be reduced. An Institute Information System is available at the Air Force Centre of Aerospace Medicine for electronic documentation of the examination data and digital data storage.

Two survey periods (of 3 years each) were investigated, to ensure that every pilot was examined at the Air Force Centre of Aerospace Medicine at least once within these 3-year periods, the first from 2007 to 2009, and the second from 2016 to 2018. If a pilot was examined more than once within a 3-year period, for example, if above 40 years of age or when examination intervals were reduced for medical reasons, only the last examination in each survey period was analysed.

Age, sex, height, weight, body mass index (calculation using weight and height, BMI=kg/m²), smoking status (active smoker, ex-smoker, never-smoker), resting blood pressure, total cholesterol, high density lipoprotein (HDL), low density lipoprotein (LDL), triglycerides and glucose were all captured. The use of antihypertensive drugs and the diagnosis of diabetes mellitus were registered. A myocardial infarction before 60 years of age in a first degree relative was regarded as a positive family history. The type of aircraft flown (fast jet, fixed wing or rotary wing) was also noted.

Based on these data, the PROCAM (Prospective Cardiovascular Münster) score¹⁰ was calculated twice, the first time considering the age of the pilot, and the second time age-adjusted, which means without adding points for the individual age. To calculate the PROCAM score, eight variables have to be considered and scored according to their parameter value: age (maximum 26 points), LDL cholesterol (max. 20 points), HDL cholesterol (max. 11 points), triglycerides (max. 4 points), smoking status (max. 8 points), diabetes mellitus (max. 6 points), a positive family history for myocardial infarction (max. 4 points) and the systolic blood pressure (max. 8 points). The sum can be transferred into an individual risk for an acute myocardial infarction within the next 10 years. In total, 5356 medical examinations were done during the two survey periods. There were only a very small number of remotely piloted aircraft systems pilots (one in the first and two in the second cohort), so they were

excluded from further analysis. Because of this, 5353 medical examinations were included in this analysis. The analysis was done first for all pilots in each survey period, and second only for those who were active pilots during both survey periods (n=1717 pilots).

Statistical analyses were conducted using IBM SPSS Statistics for Windows 24 (IBM Released 2016, Armonk, New York, USA). Data analysis was primarily descriptive. Because the Kolmogorov-Smirnov test has shown that each nominal scale parameters were not normally distributed, median and IQR were presented. Differences were analysed with Pearson's χ^2 test and for independent samples, Mann-Whitney U test or Kruskal-Wallis test were used. For paired samples the Wilcoxon test was used. Significance level was defined as $p < 0.05$. In order to adjust for multiple comparisons, a Bonferroni correction was used. A corrected $p^* < 0.0023$ (0.05/22) for survey period differences (n=22 factors) and $p^* < 0.0055$ (0.05/9) for aircraft types differences (n=9 factors) were considered statistically significant and further interpreted. According to the regulations of the Bavarian Medical Association, the responsible authority for this study, a vote of the ethics committee was not necessary for this retrospective analysis.

RESULTS

An overview over the included PMEs is presented in Figure 1. A comparison between cohorts from the two 3-year periods revealed a reduction of active pilots for all types of aircraft (fast jets, fixed wing, and rotary wing). The biggest decline was seen in the number of active rotary wing pilots with a reduction of 50.4% from 1014 to 503. The number of fixed wing pilots decreased from 1651 to 863 (47.7% reduction). The slightest decrease was seen in the number of fast jet pilots from 731 to 591 (19.2% reduction).

Differences in CVRF between the two 3-year periods are shown in Table 1. Between the two cohorts, median age increased significantly. There was a significant increase of total cholesterol, LDL and HDL cholesterol, glucose, triglycerides and BMI. The percentage of pilots with a normal body weight decreased, while the percentage of overweight pilots increased, both significantly. The median systolic and diastolic blood pressure did not change between the two cohorts. In addition, the percentage of active smokers decreased significantly, while there was a significant increase in ex-smokers.

The PROCAM score, which was used for a 10-year risk assessment of an acute coronary event, increased significantly from 18 to 23 points. Thus, the relative risk for an acute coronary event was in median <1% (2007–2009) and 1.3% (2016–2018), respectively, before age-adjustment. Simultaneously, the number of pilots with an individual risk $\geq 5\%$ for an acute coronary event within the next 10 years based on the PROCAM score increased from 7.4% to 13.9% ($p < 0.001$), with an individual risk $\geq 10\%$ from 2.1% to 4.9% ($p < 0.001$). After age-adjustment, there was no significant increase in the PROCAM score (both cohorts 15 points, $p = 0.270$), and the individual risk did not change significantly for the pilot groups with a risk of an acute coronary event of $\geq 5\%$ and $\geq 10\%$ within the next 10 years. The comparison of the CVRF differences for the pilots included in the first as well as in the second survey period (n=1717) showed similar results (Table 2).

A subanalysis of pilot cohorts regarding different aircraft types showed that fast jet pilots were significantly younger (median 32.9 and 38.9 years, respectively) than rotary wing pilots (median 36.9 and 40.8 years, respectively) and fixed wing

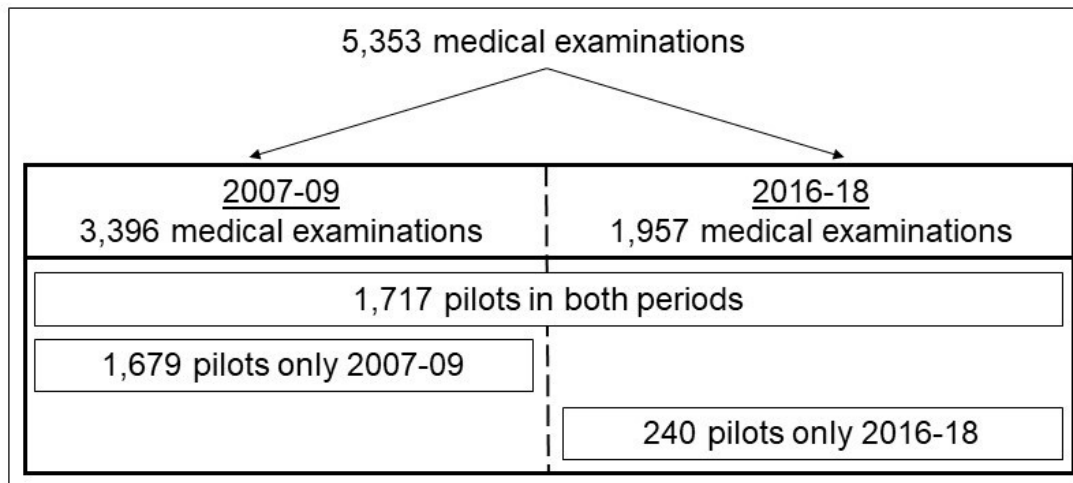


Figure 1 Overview over the included periodic medical examinations.

pilots (median 36.9 and 44.8 years, respectively). Within 9 years between the two observation periods, the median of pilot ages increased by 3.9 (rotary wings) to 7.9 years (fixed wing). There were also differences between aircraft types regarding PROCAM score: it was lowest in rotary wing pilots and highest in fixed wing pilots. This order also applied after age-adjustment, when the PROCAM score for rotary wing pilots decreased by one point, while it did not change for fast jet and fixed wing pilots. This is shown in [Table 3](#).

The analysis of the pilots included in both survey periods showed similar results ([Table 4](#)): Jet pilots remain the youngest group of pilots (median 32.9 and 38.9 years), rotary and fixed wing pilots are in median 4 years older. There were also similar differences between aircraft types regarding PROCAM score: It was lowest in rotary wing pilots and highest in fixed wing pilots.

DISCUSSION

This analysis demonstrates that the number of active German military pilots decreased over the 9 years between 2007–2009 and 2016–2018. Their median age, BMI, total cholesterol, HDL and LDL cholesterol, glucose, triglycerides and PROCAM scores increased across pilots of all aircraft types. However, smoking status improved. There were statistically significant differences between aircraft types, with the lowest PROCAM scores for rotary wing pilots and the highest for fixed wing pilots. Similar results were found when only pilots were analysed that were included in both survey periods.

The PROCAM score we used for CV risk assessment is a commonly used risk score in Germany and is based on an occupational cohort from the area of Münster in the northwest of Germany. It uses a Cox proportional hazards model using eight independent risk variables, ranked in order of importance (age, LDL cholesterol, smoking, HDL cholesterol, systolic blood pressure, family history of premature myocardial infarction, diabetes mellitus and triglycerides).¹⁰

Compared with the general population,^{11–14} cardiovascular risk in German military pilots is very low, probably due to regular flight physical examinations, constant health education by local flight surgeons and the Air Force Centre of Aerospace Medicine, high health discipline among soldiers and the comparatively high socioeconomic class of qualified pilots. In addition, a comparison with the general population may be biased by a ‘healthy worker effect’.¹⁵

Our analysis shows that the increase of the individual risk of an acute coronary event within the next 10 years between the two cohorts was only based on the increasing age and not on differences in the other CVD risk factors even though there was a significant increase in such parameters. Although the individual CV risk in German military pilots is low, the evaluation and improvement of the CV risk profile should be the aim of each PME. A proportion of 14.5% of the entire cohort with an individual risk $\geq 5\%$ of a coronary event within the next decade is low in comparison to the general population, but should be reduced for military pilots.

The decreased number of active pilots and the increase of age in those left points to the fact that in Germany many younger pilots have left the military due to the reduction and transformation of the German Armed Forces. The number of fast jets, fixed wing and rotary wing aircraft has been reduced, and many military facilities have been closed. The civilian job market has become more attractive which is partially caused by the current pilot shortage in many countries.^{16–19} In contrast, older professional military aircrew may be less motivated to change careers. Other countries are facing similar issues.⁷ Despite the comparatively low risk of CVD in active pilots, this risk has increased with the increasing age of the pilot population and not by an increase in the other risk factors. This may present challenges for the aerospace medicine branch of the German Armed Forces and others.

The PME of pilots has to be very sensitive with regard to CVD and especially CAD. In the majority of cases, acute coronary syndrome occurs because of the rupture of a non-flow-limiting atherosclerotic plaque in the coronary arteries. In many cases, these individuals are completely asymptomatic prior to the event. Cardiovascular prevention is increasingly important and is achieved in close cooperation between pilot and flight surgeon. The most important measures are control of weight, blood pressure and cholesterol, a healthy diet (eg, Mediterranean), regular exercises, avoidance of nicotine, reduction of alcohol consumption and a proper stress management. Due to the decreasing numbers of military pilots, permanent disqualification of those with CVD is more and more difficult. Individual agency decisions based on the specific risk levels of pilots are increasingly important to decide if they can fly with restrictions after proper treatment and with an effective secondary prevention if indicated.

Table 1 Cardiovascular risk factors and PROCAM score (not age-adjusted and age-adjusted) for the pilots in the survey periods 2007–2009 and 2016–2018

	2007–2009	2016–2018	p* value
N	3396	1957	
Age (years)	36.7 (16.1)	41.9 (16.3)	<0.001
Sex			0.091
Male	3356 (98.8%)	1923 (98.3%)	
Female	40 (1.2%)	34 (1.7%)	
BMI (kg/m ²)	24.9 (3.5)	25.6 (3.7)	<0.001
BMI categories			<0.001
Normal (<25 kg/m ²)	1716 (50.5%)	808 (41.3%)	
Overweight (≥25 and<30 kg/m ²)	1522 (44.8%)	1062 (54.3%)	
Obesity (≥30 kg/m ²)	158 (4.7%)	86 (4.4%)	
Positive family history	398 (11.7%)	208 (10.6%)	0.225
Smoking habits			<0.001
Smoker	721 (21.2%)	314 (16.0%)	
Ex-smoker	183 (5.4%)	180 (9.2%)	
Never-smoker	2492 (73.4%)	1463 (74.8%)	
Antihypertensive medication	23 (0.7%)	5 (0.3%)	0.039
Diabetes mellitus	5 (0.1%)	4 (0.2%)	0.623
Cholesterol (mg/dL)	191.0 (49.0)	198.0 (47.0)	<0.001
HDL (mg/dL)	52.0 (17.0)	54.0 (17.0)	<0.001
LDL (mg/dL)	124.0 (45.0)	132.0 (44.0)	<0.001
Glucose (mg/dL)	93.0 (10.0)	95.0 (11.0)	<0.001
Triglycerides (mg/dL)	97.0 (63.0)	102.0 (59.8)	<0.001
Systolic blood pressure (mm Hg)	120.0 (10.0)	120.0 (15.0)	<0.001
Diastolic blood pressure (mm Hg)	80.0 (5.0)	80.0 (8.0)	<0.001
PROCAM score	18 (16)	23 (19)	<0.001
CVD risk ≥5% (PROCAM ≥38)	252 (7.4%)	272 (13.9%)	<0.001
CVD risk ≥10% (PROCAM ≥45)	72 (2.1%)	96 (4.9%)	<0.001
PROCAM score age-adjusted	15 (12)	15 (11)	0.270
CVD risk ≥5% (PROCAM ≥38)	23 (0.7%)	15 (0.8%)	0.709
CVD risk ≥10% (PROCAM ≥45)	2 (0.1%)	2 (0.1%)	0.577
Aircraft type			<0.001
Fast jet	731 (21.5%)	591 (30.2%)	
Fixed wing	1651 (48.6%)	863 (44.1%)	
Rotary wing	1014 (29.8%)	503 (25.7%)	

Median and IQR or absolute and relative numbers are presented. Cholesterol: 1 mg/dL=0.02586 mmol/L; triglycerides: 1 mg/dL=0.0113 mmol/L; glucose: 1 mg/dL=0.0555 mmol/L.

Significant p* values are highlighted in bold.

BMI, body mass index; HDL, high density lipoprotein; LDL, low density lipoprotein; N, number of pilots; PROCAM, Prospective Cardiovascular Münster.

There are strengths and limitations of this study. One of the strengths is that a full sample survey of all active military pilots was obtained in each 3-year period. Because of the comprehensive PME performed by the Air Force Centre of Aerospace Medicine, complete datasets could be analysed. A differentiation between aircraft types was possible. There are also some limitations of this study. Military pilots are a highly selected group of personnel, so that their risk rates are per se lower than those in the general population, and a comparison is difficult. Pilots with manifest diseases are usually disqualified, which leads to a further selection bias, because these individuals are no longer examined periodically and excluded from the database used for this analysis. An exemption is individuals granted a waiver for restricted flying.

The disadvantage of the PROCAM score which was used for risk calculation is that it does not take into account the recent

Table 2 Cardiovascular risk factors and PROCAM scores (not age-adjusted and age-adjusted) for those pilots included in both survey periods 2007–2009 and 2016–2018

	2007–2009	2016–2018	p* value
N	1717		
Age (years)	33.8 (15.9)	42.9 (15.8)	<0.001
Sex			
Male	1693 (98.6%)		
Female	24 (1.4%)		
BMI (kg/m ²)	24.8 (3.4)	25.6 (3.7)	<0.001
BMI categories			<0.001
Normal (<25 kg/m ²)	928 (54.0%)	699 (40.7%)	
Overweight (≥25 and<30 kg/m ²)	741 (43.2%)	942 (54.9%)	
Obesity (≥30 kg/m ²)	48 (2.8%)	75 (4.4%)	
Positive family history	196 (11.4%)	194 (11.3%)	0.157
Smoking habits			<0.001
Smoker	366 (21.3%)	290 (16.9%)	
Ex-smoker	83 (4.8%)	171 (10.0%)	
Never-smoker	1268 (73.8%)	1256 (73.2%)	
Antihypertensive medication	16 (0.9%)	4 (0.2%)	0.007
Diabetes mellitus	4 (0.2%)	4 (0.2%)	1.000
Cholesterol (mg/dL)	189.0 (49.0)	199.0 (47.0)	<0.001
HDL (mg/dL)	52.0 (16.0)	54.0 (17.0)	<0.001
LDL (mg/dL)	124.0 (43.0)	133.0 (43.0)	<0.001
Glucose (mg/dL)	93.0 (9.0)	96.0 (11.0)	<0.001
Triglycerides (mg/dL)	94.0 (59.0)	103.0 (60.0)	<0.001
Systolic blood pressure (mm Hg)	120.0 (13.0)	120.0 (15.0)	<0.001
Diastolic blood pressure (mm Hg)	80.0 (5.0)	80.0 (8.0)	<0.001
PROCAM score	17 (15)	24 (17)	<0.001
CVD risk ≥5% (PROCAM ≥38)	77 (4.5%)	252 (14.7%)	<0.001
CVD risk ≥10% (PROCAM ≥45)	18 (1.0%)	93 (5.3%)	<0.001
PROCAM score age-adjusted	14 (11)	15 (12)	<0.001
CVD risk ≥5% (PROCAM ≥38)	10 (0.6%)	14 (0.8%)	0.414
CVD risk ≥10% (PROCAM ≥45)	1 (0.1%)	2 (0.1%)	0.564
Aircraft type			0.095
Fast jet	464 (27.0%)	473 (27.5%)	
Fixed wing	787 (45.8%)	782 (45.5%)	
Rotary wing	466 (27.1%)	462 (26.9%)	

Median and IQR or absolute and relative numbers are presented. Cholesterol: 1 mg/dL=0.02586 mmol/L; triglycerides: 1 mg/dL=0.0113 mmol/L; glucose: 1 mg/dL=0.0555 mmol/L.

Significant p* values are highlighted in bold.

BMI, body mass index; HDL, high density lipoprotein; LDL, low density lipoprotein; N, number of pilots; PROCAM, Prospective Cardiovascular Münster.

declines in CVD and CVD risk factors which have been observed in Germany within the last decade.²⁰ These changes were the reason for several recalibrations of other risk scores such as the SCORE-Deutschland risk chart. But as this study analyses two 3-year periods lying in the past with an interval of 9 years from each other, we think that the use of a currently updated risk score is of less importance.

Despite the limitations, it was shown that the CV risk profile of active military pilots has slightly increased between the two survey periods, although it remained low overall. Compared with the general population, military pilots remain a population with a comparatively low CV risk profile.

CONCLUSION

This cross-sectional survey of all active German military pilots within two 3-year periods with an interval of 9 years between them

Table 3 Age and PROCAM score (not age-adjusted and age-adjusted) for the pilots in the survey period 2007–2009 and 2016–2018 and different aircraft types

	2007–2009	2016–2018	Δ	p value
Age				
Fast jet	32.9 (18.3)	38.9 (18.8)	+6.0	<0.001
Fixed wing	36.9 (18.1)	44.8 (15.7)	+7.9	<0.001
Rotary wing	36.9 (10.2)	40.8 (14.3)	+3.9	<0.001
	p<0.001	p<0.001		
PROCAM				
Fast jet	18.0 (17.0)	21.0 (18.0)	+3.0	<0.001
Fixed wing	20.0 (17.0)	25.0 (19.0)	+5.0	<0.001
Rotary wing	17.0 (15.0)	21.0 (18.0)	+4.0	<0.001
	p<0.001	p<0.001		
PROCAM age-adjusted				
Fast jet	15.0 (12.0)	15.0 (11.0)	+0.0	0.582
Fixed wing	15.0 (11.0)	15.0 (12.0)	+0.0	0.043
Rotary wing	14.0 (12.0)	13.0 (11.0)	−1.0	0.321
	p=0.072	p<0.001		

Median and IQR are presented, n=5353.

Significant p values are highlighted in bold.

Δ, difference; PROCAM, Prospective Cardiovascular Münster.

demonstrates that the number of pilots decreased while the average age increased. In addition, there was an increase of many CVRF.

As CVD, and especially CAD, is one of the most critical diseases for pilots, which can lead to sudden incapacitation without prior symptoms, this will be a future challenge for Germany and for many other countries in the western world. On the other hand, military pilots have a high degree of health awareness and are closely monitored, so that the CV risk profile as a whole was quite stable over time and better than in the general population. Monitoring of the CV risk profile will remain crucial for pilots and other high hazard occupations.

Table 4 Age and PROCAM score (not age-adjusted and age-adjusted) for the pilots included in both survey periods 2007–2009 and 2016–2018 and different aircraft types

	2007–2009	2016–2018	Δ	p* value
Age				
Fast jet	31.3 (17.7)	40.9 (17.9)	+9.6	<0.001
Fixed wing	35.9 (15.9)	45.9 (15.2)	+10.0	<0.001
Rotary wing	31.9 (14.4)	40.9 (14.1)	+9.0	<0.001
	p*<0.001	p*<0.001		
PROCAM				
Fast jet	17.0 (15.0)	23.0 (17.0)	+6.0	<0.001
Fixed wing	18.0 (14.0)	26.0 (19.0)	+8.0	<0.001
Rotary wing	15.0 (13.0)	21.0 (18.0)	+6.0	<0.001
	p*<0.001	p*<0.001		
PROCAM age-adjusted				
Fast jet	15.0 (12.0)	16.0 (12.0)	+1.0	0.001
Fixed wing	15.0 (11.0)	16.0 (13.0)	+1.0	<0.001
Rotary wing	12.0 (11.0)	13.0 (11.0)	+1.0	0.013
	p*<0.001	p*<0.001		

Median and IQR are presented, n=1717.

Significant p values are highlighted in bold.

Δ, difference; PROCAM, Prospective Cardiovascular Münster.

Acknowledgements The authors thank Group Captain Edward David Nicol Consultant Cardiologist, Aviation Medicine Clinical Service, Centre of Aviation Medicine, RAF Henlow (UK) for the critical review and suggestions made for the final version of this article.

Contributors SS was responsible for the data export and analysed the data and was a major contributor in writing the manuscript. NG was responsible for the data export and analysed the data. All authors read and approved the final manuscript.

Funding The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Competing interests Both authors declared that they are active Bundeswehr Medical Service officers and work for the Federal Ministry of Defence and that no funding was received in the publication of this article.

Patient consent for publication Not required.

Provenance and peer review Not commissioned; externally peer reviewed.

Data availability statement Data are available on reasonable request. The data that support the findings of this study are available from Federal Ministry of Defense but restrictions apply to the availability of these data, which were used under license for the current study, and so are not publicly available.

ORCID iD

Stefan Sammito <http://orcid.org/0000-0001-5605-1040>

REFERENCES

- Kochanel KD, Murphy S, Xu J. Mortality in the United States, 2016 NCHS Data Brief; 2017: 1–8.
- Mendis S, Puska P, Norving B. Global atlas on cardiovascular disease prevention and control. Geneva World Health Organization in collaboration with the World Heart Federation and the World Stroke Organization; 2011.
- DeJohn C, Wolbrink A, Larcher J. In-flight medical incapacitation and impairment of U.S. airline pilots: 1993 to 1998 2004.
- Newman D. Analysis of medical conditions affecting pilots involved in aircraft accidents and incidents: 1 Jan 1975- 31 March 2006 2006.
- Houston S, Mitchell S, Evans S. Prevalence of cardiovascular disease risk factors among UK commercial pilots. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 2011;18:510–7.
- Arteaga-Arredondo LF, Fajardo-Rodríguez HA. [Cardiovascular risk factor prevalence in civil aviation pilots in Colombia during 2005]. *Rev Salud Publica* 2010;12:250–6.
- Grósz A, Tóth E, Péter I. A 10-year follow-up of ischemic heart disease risk factors in military pilots. *Mil Med* 2007;172:214–9.
- Osswald S, Miles R, Nixon W, et al. Review of cardiac events in USAF aviators. *Aviat Space Environ Med* 1996;67:1023–7.
- Dumser T, Borsch M, Wonhas C. Coronary artery disease in aircrew fatalities: morphology, risk factors, and possible predictors. *Aviat Space Environ Med* 2013;84:142–7.
- Assmann G, Cullen P, Schulte H. Simple scoring scheme for calculating the risk of acute coronary events based on the 10-year follow-up of the prospective cardiovascular Münster (PROCAM) study. *Circulation* 2002;105:310–5.
- Truthmann J, Schienkiewitz A, Busch MA, et al. Changes in mean serum lipids among adults in Germany: results from national health surveys 1997–99 and 2008–11. *BMC Public Health* 2016;16:240.
- Truthmann J, Busch MA, Scheidt-Nave C, et al. Modifiable cardiovascular risk factors in adults aged 40–79 years in Germany with and without prior coronary heart disease or stroke. *BMC Public Health* 2015;15:701.
- Tiffe T, Wagner M, Rucker V, et al. Control of cardiovascular risk factors and its determinants in the general population- findings from the STAAB cohort study. *BMC Cardiovasc Disord* 2017;17:276.
- Diederichs C, Neuhauser H, Rucker V, et al. Predicted 10-year risk of cardiovascular mortality in the 40 to 69 year old general population without cardiovascular diseases in Germany. *PLoS One* 2018;13:e0190441.
- Baillargeon J. Characteristics of the healthy worker effect. *Occup Med* 2001;16:359–66.
- Valenta V. Effects of airline industry growth on pilot training. *MAD* 2018;6:52–6.
- Duggar JW. The supply and demand for commercial airline pilots: impact of changing requirements. *RBEJ* 2019;13:1–25.
- Lutte R, Lovelace K. Airline pilot supply in the US: factors influencing the collegiate pilot pipeline. *Journal of Aviation Technology and Engineering* 2016;6:53–63.
- Lutte B. Pilot supply at the regional airlines: airline response to the changing environment and the impact on pilot hiring. *JAAER* 2018;27:1–22.
- Rucker V, Keil U, Fitzgerald AP, et al. Predicting 10-year risk of fatal cardiovascular disease in Germany: an update based on the SCORE-Deutschland risk charts. *PLoS One* 2016;11:e0162188.

Return to Flying After Catheter Ablation of Arrhythmic Disorders in Military Aircrew

Norbert Guettler; Edward Nicol; Stefan Sammito

- INTRODUCTION:** Catheter ablation is a widely used and effective treatment option for many tachyarrhythmic disorders. This study analyzes all ablation cases in German military aircrew over a 17-yr period. Recurrence of different arrhythmias and ablation complications were analyzed with an aim of refining specific recommendations for aircrew employment.
- METHODS:** All cases of catheter ablations in pilots and nonpilot aircrew examined at the German Air Force Centre of Aerospace Medicine from 2004 to 2020 were analyzed for sex, age, concomitant diseases, ablated arrhythmias, complications, recurrences, time elapsed from ablation to reablation, number of ablations, and aeromedical disposition, including restrictions in case of a return to flying duties.
- RESULTS:** There were 36 aircrew who underwent catheter ablation; 7 were ablated for 2 or more different arrhythmias; 10 underwent more than one ablation. Ablated arrhythmias included atrioventricular (AV) nodal re-entrant tachycardias, accessory pathways, focal atrial tachycardias, typical and atypical atrial flutter, atrial fibrillation, and premature atrial and ventricular complexes. Recurrence rates differed between the arrhythmias and were lowest in AV re-entrant tachycardias. Complication rates were low.
- CONCLUSION:** In this aircrew cohort, nearly all aircrew were able to return to flying duties following ablation, albeit some with restrictions. Restrictions depended on the underlying arrhythmia, the ablation procedure, and the symptoms prior to ablation. A basic understanding of different arrhythmias, ablation techniques, and long-term success rates is essential for the AME and for the responsible licensing authority. Close cooperation with an electrophysiologist is necessary prior to and after ablation to ensure optimal management of aircrew with arrhythmias.
- KEYWORDS:** catheter ablation, arrhythmia, arrhythmic disorder, aircrew, military, aerospace medicine, aviation.

Guettler N, Nicol E, Sammito S. *Return to flying after catheter ablation of arrhythmic disorders in military aircrew.* *Aerosp Med Hum Perform.* 2022; 93(10):725-733.

Catheter ablation is an effective and widely used treatment for many kinds of tachyarrhythmias, including supraventricular and ventricular tachycardia, supraventricular and ventricular ectopy, atrial fibrillation, and atrial flutter.^{3,13,23} Ablation is an attractive option for aircrew because antiarrhythmic drugs, as a long-term treatment, are often incompatible with continued flying duties due to their adverse side effect profile.¹² Depending on the type of aircraft flown, the aircrew role in the aircraft, and the mission profile, aircrew often work in a physiologically challenging environment, with exposure to sustained acceleration, potential hypoxia, and long-range flights with a risk of fatigue.²⁰ Military aircrews in tactical aircraft and high-performance trainers can be subject to unusual acceleration forces that may stress the cardiovascular system. Additionally, military aircrew are often involved in

missions abroad and potential combat scenarios.²⁰ Due to these challenges aircrew must be medically fit and are monitored by aviation medical examiners (AME) using periodic medical examinations (PME).

From the German Air Force Centre of Aerospace Medicine, Fuerstenfeldbruck and Cologne, Germany; Department of Cardiology, Justus Liebig University, University Hospital Giessen, Medical Clinic I, Giessen, Germany; Department of Cardiology, Royal Brompton Hospital, London, UK; Faculty of Medicine, Imperial College, London, UK; Department of Occupational Medicine, Medical Faculty, Otto von Guericke University, Magdeburg, Germany.

This manuscript was received for review in January 2022. It was accepted for publication in July 2022.

Address correspondence to: Col. (MC) Dr. Norbert Guettler, German Air Force Centre of Aerospace Medicine, Strasse der Luftwaffe 322, 82256 Fuerstenfeldbruck, Germany; guettlern@aol.com.

Reprint and copyright © by the Aerospace Medical Association, Alexandria, VA.

DOI: <https://doi.org/10.3357/AMHP.6065.2022>

According to most aeromedical regulations, aircrew are initially unfit for flying following the identification of tachyarrhythmias (both symptomatic and asymptomatic) and remain so initially following catheter ablation. A return to restricted or unrestricted flying, after a defined observation period and after cardiological evaluation, however, is often possible depending on the arrhythmia and success profile of the ablation procedure. The regulations issued by the European Union Aviation Safety Agency (EASA) require a dual pilot restriction (Operational Multicrew Limitation, OML) for at least 1 yr for commercial pilots (class 1). Alternatively, aircrew can undergo further invasive electrophysiological testing, at a minimum of 2 mo after ablation, to ensure ongoing ablation success.⁷ For those with an uncertain long-term success (such as atrial fibrillation), a longer OML period or an additional observation period may be necessary. Before a return to flying is possible, pilots must be referred to the licensing authority. Private pilots (class 2) must undergo satisfactory cardiological evaluation at a minimum of 2 mo after ablation and consult with the licensing authority.⁷ Cabin crew with a history of catheter ablation should undergo satisfactory cardiological evaluation before being assessed as fit for flying. Air traffic controllers are unfit to perform their duties for a minimum period of 2 mo after ablation therapy. Before returning to their duties, they must be referred to the licensing authority and undergo satisfactory cardiological evaluation. This should include an electrophysiological study to demonstrate satisfactory ablation results.⁸

The U.S. Federal Aviation Administration (FAA) requires a 3-mo waiting period, followed by Holter monitoring. If the Holter is negative, with no recurrence, the medical certificate can be issued by the AME, otherwise a decision by the FAA is required.⁹ After atrial fibrillation ablation, a 3-mo waiting period is required with deferral to the FAA. According to the U.S. Air Force Waiver Guide, aircrew are initially unfit for flying after catheter ablation; a waiver is possible postablation, except for initial applicants for flying duties after ablation for atrial fibrillation, and after catheter ablation of ventricular tachycardia secondary to myocardial infiltration or scar.²⁶ The required observation period depends on ablated arrhythmia and flying class.

The aim of this study was to understand how many aircrew members returned to flying duties after catheter ablation and if aeromedical decisions made after ablation, including observation periods, follow-up examination, and restrictions, should be more nuanced depending on the arrhythmia and the ablation procedure. Such nuances are not currently included in the EASA regulations, and only in part in the U.S. civil and military regulations.

METHODS

The digital information systems of the German Air Force Centre of Aerospace Medicine (GAFCAM) were searched for aircrew (pilot and nonpilot aircrew from the German Air Force, Army, and Navy) examined between 2004 and 2020 who had

undergone catheter ablation for tachyarrhythmic disorders. In addition, paper records of all ablated aircrew were searched for relevant information including medical reports by the treating physicians. All German military pilot applicants and licensed nonpilot aircrew applicants are medically screened at the GAFCAM. Active-duty German Air Force, Army, and Navy pilots and nonpilot aircrew undergo PME at GAFCAM annually after catheter ablation. A few aircrew had already undergone catheter ablation prior to joining the German Armed Forces, so the earliest catheter ablations registered were undertaken in 1996 and 1997.

All ablated aircrew were evaluated for underlying cardiac or noncardiac disease with a medical history, physical examination, exercise ECG, echocardiogram, Holter recording, and laboratory tests including electrolytes and thyroid function. In those over age 40, examination of the coronary arteries was undertaken, mostly by computed tomography (CT) coronary angiography.

Sex, age, underlying or concomitant diseases, ablated arrhythmias, complications, recurrences, time elapsed from ablation to reablation, total number of ablations, and aeromedical disposition including restrictions in case of a return to flying duties were all recorded.

According to the regulations of the Bavarian Medical Association, a vote of the ethics committee was not necessary for this retrospective analysis. The Bavarian Medical Association is responsible in this case because the Department of Clinical Aviation Medicine of the GAFCAM, where the examinations were performed, is located in Fuerstenfeldbruck, Bavaria.

RESULTS

There were 36 aircrew (25 pilots or pilot applicants, and 11 nonpilot aircrew) who were identified as having undergone ablation for a tachyarrhythmic disorder. Two nonpilot aircrew were women, all others were male. The number of aircrew having undergone catheter ablation for different arrhythmias and recurrences per arrhythmia are shown in **Fig. 1**.

There were 10 of the 36 (28%) who had two or more ablation procedures, and 7 (19%) were ablated for more than one arrhythmia type. A total of 51 separate ablation procedures for the 36 individuals were included. Four pilot aircrew had concomitant disease, three cases of medically treated hypertension, one with concurrent coronary artery disease (stenoses < 50%). One pilot applicant had mitral valve prolapse and recurrent daytime sinoatrial block with pauses up to 2.4 s. Five nonpilot aircrew with underlying or concomitant disease were identified, one with type 2 diabetes and mild hypertension, one with chronic obstructive pulmonary disease (COPD), atherosclerosis and hypertension, one with mild hypertension, one with hypertension and borreliosis prior to ablation, and one with myocarditis before the arrhythmias started. Two pilots and two nonpilot aircrew joined the German Armed Forces several years after ablation with stable rhythm for many years prior to entry.

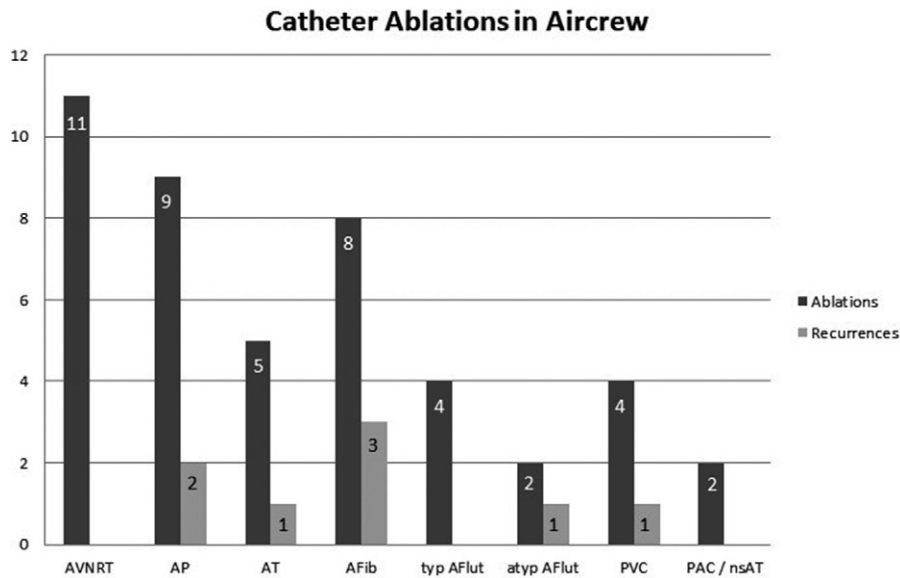


Fig. 1. Catheter ablations in German military aircrew assessed between 2004 and 2020. The diagram shows the number of primary ablations of different arrhythmia (black) and the number of individuals with one or more recurrences (gray). All the recurrences shown in this figure resulted in repeat ablations. AVNRT = AV nodal re-entrant tachycardia; AP = accessory pathway; AT = atrial tachycardia; AFib = atrial fibrillation; typ AFlut = typical atrial flutter; atyp AFlut = atypical atrial flutter; PVC = premature ventricular complex; PAC = premature atrial complex; nsAT = nonsustained atrial tachycardia.

Fig. 2 and **Fig. 3** show the period elapsed until repeat ablation for each arrhythmia or until ablation for a different arrhythmia. **Table I** and **Table II** describe the corresponding aeromedical disposition and additional information influencing the decision including age, concomitant disease, and type of aircraft flown. For these figures and tables, we numbered aircrew from 1 to 36, numbers 1 to 25 were pilots or pilot applicants, 26 to 36 were nonpilot aircrew. All but one pilot applicant (No. 22) were allowed to return to flying duties after catheter ablation, eleven of them with restrictions (eight with temporary, three with permanent restrictions). The pilot applicant was unfit for flying because of unclear circulatory dysregulation with episodes of presyncope and exhaustion, obviously not caused by the ablation procedure. One pilot and two nonpilot aircrew quit flying for different reasons after the ablation.

Most included aircrew were asymptomatic and free of recurrences after their last ablation. No. 31 noticed remaining atrial ectopy after two ablations for AT at different locations, which is controlled with flecainide. She recently quit flying duties for other reasons. No. 33 has discovered several episodes of AFib/AFlut on his pulse watch since 2021, some of them with very mild symptoms, others were completely asymptomatic. These episodes have not resulted in restrictions or in a repeat ablation.

DISCUSSION

Aircrew, and especially pilots, undertake high-hazard roles and undergo thorough medical screening before employment and regular PMEs throughout their career. The risk of recurrence requiring reablation and the period from primary ablation to

recurrence was highly dependent on the arrhythmia. Outcomes of catheter ablations for different arrhythmias can be expected to be similar to those of equivalent cohorts in the general population. The prognosis of catheter ablation can therefore be determined from larger data sets. The difference in recurrence for different types of tachyarrhythmia should be considered by the AME or licensing authority when observation periods and possible restrictions are defined. The current European regulations do not include any differentiation in postablation procedures between different arrhythmias,⁷ while in the FAA regulations there are variable procedures after the ablation of atrial fibrillation.⁹

Atrioventricular nodal re-entrant tachycardia (AVNRT) was the most frequently ablated arrhythmia in our cohort, with 11 aircrew and aircrew applicants undergoing catheter ablation. Three were pilot applicants who wanted to fly fast jets; two had a single AVNRT during a centrifuge run, while a third had a single AVNRT during an exercise ECG. There were no recurrences post AVNRT ablation.

This is consistent with published literature.³ Feldman et al. found an acute success rate of AVNRT ablation of 98.1% and a recurrence rate of 1.5%.¹⁰ Independent predictors of AVNRT recurrence in this study were age < 20 yr and female sex. Given the high procedural success rate and the low recurrence rate, a return to unrestricted flying in selected cases seems to be possible after an observation period of 3–4 mo, after which an ablation lesion has healed. Such a return to unrestricted flying is important for single seat fast jet pilots or pilot applicants, for whom flying with an OML is not possible. Centrifuge testing for jet pilots prior to returning to unrestricted flying is reassuring if the tachycardia is not induced by acceleration forces.

Seven pilots and two nonpilot aircrew underwent catheter ablation of an accessory pathway (AP). Five pilots (three

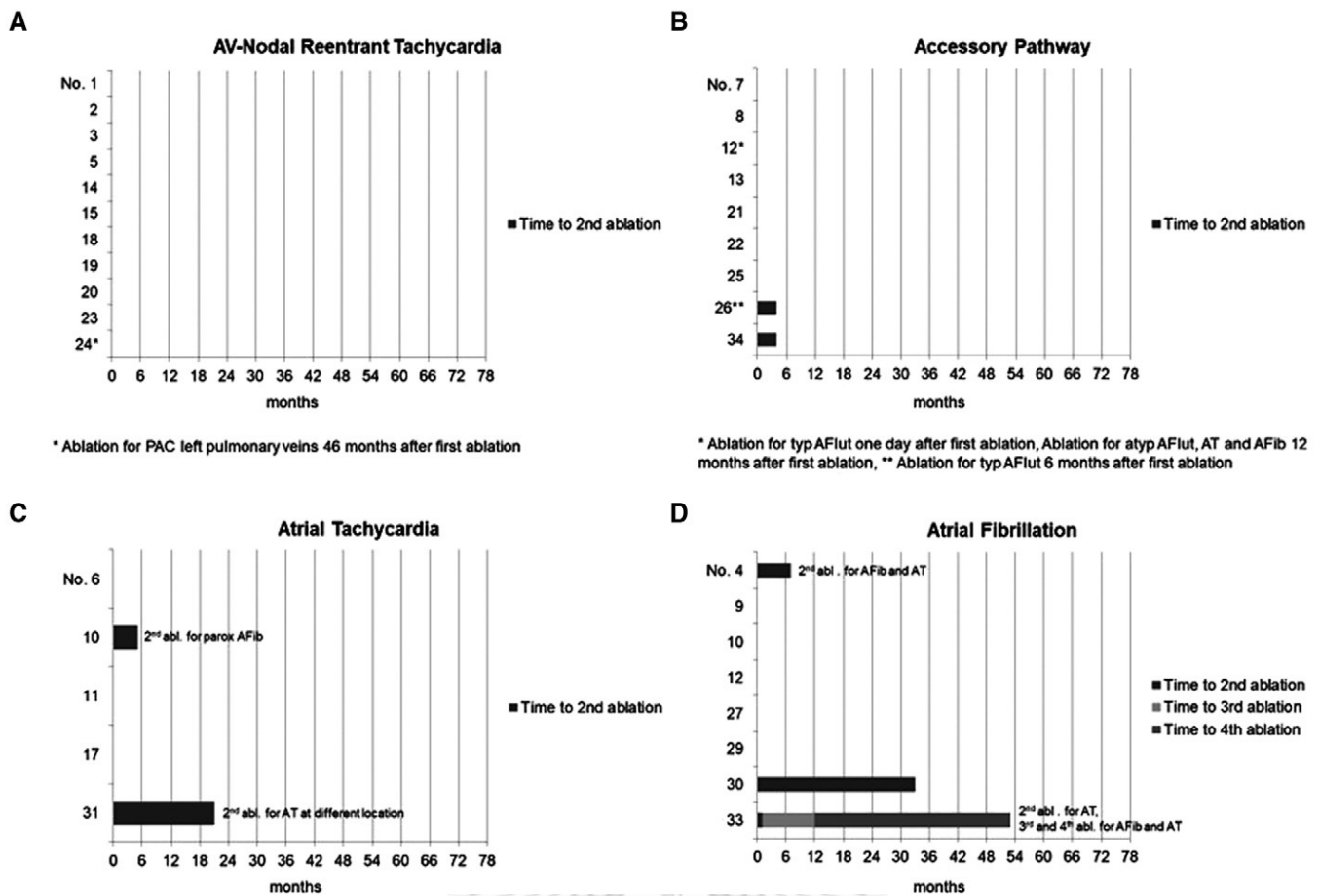


Fig. 2. Catheter ablations in German military aircrew assessed between 2004 and 2020. Numbers of aircrew are shown on the vertical axis; 1 to 25 were pilots or pilot applicants, 26 to 36 were nonpilot aircrew. A) AV-nodal re-entrant tachycardia. B) Accessory pathway. C) Atrial tachycardia. D) Atrial fibrillation. The diagrams show the time elapsed until repeat ablations for the same or different arrhythmias: Arrhythmias independent from the first arrhythmia and occurring years after the first ablation are marked with asterisks. Aircrew may occur in more than one diagram if ablated for different arrhythmias. AT = atrial tachycardia; AFib = atrial fibrillation; typ AFInt = typical atrial flutter; atyp AFInt = atypical atrial flutter; PAC = premature atrial complex.

applicants and two jet pilots) had asymptomatic ventricular preexcitation, two experienced symptomatic tachycardias prior to ablation.

The two nonpilot aircrew were symptomatic, one experienced a broad complex tachycardia (AVRT) in the high-altitude chamber. At 3 mo after his ablation he had a recurrence during an exercise ECG and was reablated. The other had a recurrence of his AVRT with reablation at 4 mo.

The five pilots/pilot applicants who were asymptomatic were ablated following the finding of a delta wave on the 12-lead resting ECG [Wolff-Parkinson-White (WPW) pattern], as this is a sign of an antegrade conducting AP. Depending on number of pathways and conduction properties, such a WPW pattern can lead to a sudden incapacitation in flight via two mechanisms: firstly, it can cause an AVRT, and secondly, in the case of an additional atrial fibrillation episode, the atrial excitation can be rapidly conducted to the ventricles, causing a fast, broad, irregular (FBI) tachycardia, and possibly ventricular fibrillation and sudden cardiac death. Therefore, EASA regulations for professional pilots require an invasive electrophysiological risk assessment for initial applicants. In high-risk individuals with

inducible tachycardia, multiple pathways, rapidly conducting pathways [effective refractory period (ERP) ≤ 250 ms in the literature, ERP ≤ 300 ms in EASA regulations], a catheter ablation is usually recommended to be fit to fly.^{5,7} In low-risk individuals, catheter ablation is optional.^{16,18} For relicensing, asymptomatic pilots can follow the same procedure or, alternatively, are restricted to OML for at least 1 yr. A similar risk assessment was required until 2013 according to the JAR-FCL-3 regulation issued by JAA (Joint Aviation Authorities),¹⁵ but restricted flying at that time was possible no earlier than 6 mo after catheter ablation, and unrestricted flying not earlier than 24 mo after the ablation. In the CASPED (Catheter ablation in ASymptomatic PEDIatric patients with ventricular preexcitation) registry involving 182 children and adolescents with asymptomatic pre-excitation, catheter ablation achieved a 91% success rate without significant complications.²⁵

In our cohort, two nonpilot aircrew ablated because of AVRTs needed repeat ablation for recurrence 3 and 4 mo after primary ablation. In pilots or pilot applicants with a WPW pattern, unrestricted flying may be possible after a minimum observation period of 3 mo. In many cases, a recurrence can

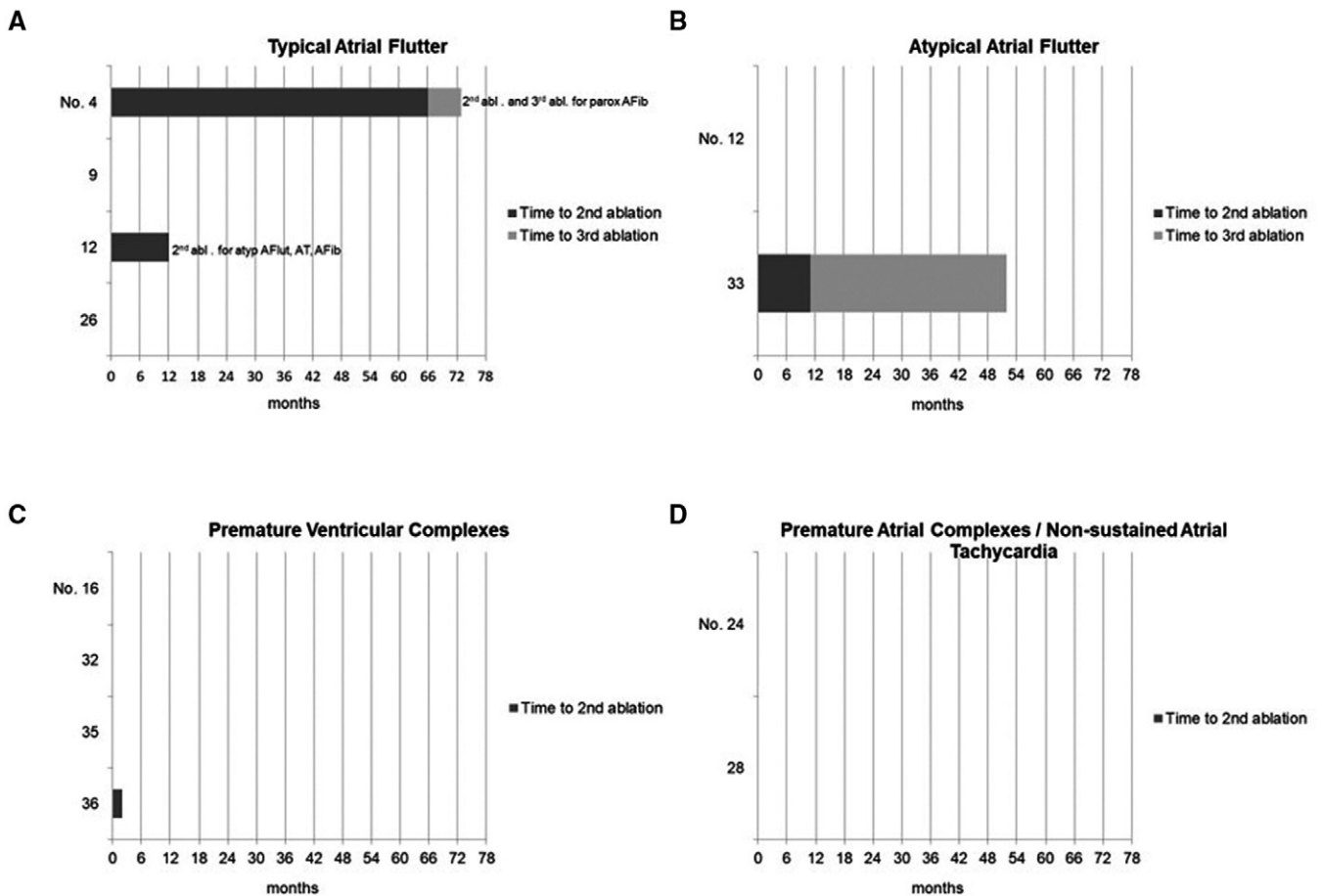


Fig. 3. Catheter ablations in German military aircrew assessed between 2004 and 2020. Numbers of aircrew are shown on the vertical axis. 1 to 25 were pilots or pilot applicants, 26 to 36 were nonpilot aircrew. A) Typical atrial flutter. B) Atypical atrial flutter. C) Premature ventricular complexes. D) Premature atrial complexes/nonsustained atrial tachycardia. The diagrams show the time elapsed until repeat ablations for the same or different arrhythmias. Aircrew may occur in more than one diagram if ablated for different arrhythmias. AT = atrial tachycardia; AFib = atrial fibrillation; atyp AFLut = atypical atrial flutter.

easily be excluded by the lack of a delta wave on the 12-lead resting ECG. Intermittent delta waves do exist, but usually indicate impaired antegrade conduction. If symptomatic with AVRT, restricted or unrestricted flying can be permitted after an observation period of 3 mo post ablation, following a case-based decision. In concealed WPW syndromes, without a delta wave in the ECG, it can be difficult to ensure long-term ablation success by means of noninvasive evaluation. If an OML restriction, mostly limited to 1 yr, would result in occupational restriction, a second invasive electrophysiological test is possible in selected cases.

Five aircrew were ablated for focal atrial tachycardia, with one recurrence at a different location 21 mo after the first ablation. In the general population, the prevalence of focal AT among those with symptomatic arrhythmia is reported with 0.46%.²² Long-term success rates of catheter ablation vary between 75 and 100%.^{1,2,4} A return to flying duties is possible, but pilots will usually be restricted to OML for at least 1 yr.

Four aircrew were ablated for typical atrial flutter with no recurrence. However, three needed subsequent ablation for atrial fibrillation (AF) after different time intervals, while the fourth one had an additional AP that also required ablation.

Typical atrial flutter is a right atrial macro-reentrant tachycardia using the cavotricuspid isthmus as a critical pathway. Ablation with a bidirectional isthmus block is highly effective, with recurrence rates of < 10%.²⁴ The incidence of AF, however, is high in the long term.⁶ Despite the low recurrence rates of typical atrial flutter, an OML restriction will in most cases be recommended due to the subsequent prevalence and unmasking of AF or other arrhythmias. Depending on the further development, this might be a temporary restriction for at least 1 yr or even a permanent restriction. The 2019 European Society of Cardiology (ESC) Guidelines for the management of patients with supraventricular tachycardia provide an overview regarding average success and complication rates of catheter ablation for focal AT, cavotricuspid isthmus-dependent atrial flutter, AVNRT, and AVRT.³ For cavotricuspid isthmus-dependent atrial flutter, AVNRT and AVRT acute ablation success rates are more than 90% with recurrence rates of 10% for atrial flutter and 2% and 8% for AVNRT and AVRT, respectively. Acute ablation success rates for focal AT are reported to be 85% with a recurrence rate of 20%.

Atypical atrial flutter required ablation in two aircrew, who both needed additional ablation for unmasked AF. In one of

Table I. Aeromedical Disposition and Additional Information Influencing These Decisions for Catheter Ablations in German Military Aircrew Assessed Between 2004 and 2020.*

NO.	SEX	AGE AT FIRST ABLATION [YEARS]	CONCOMITANT DISEASES	AIRCRAFT TYPE FLOWN	TIME FROM ABLATION TO RETURN TO FLYING DUTIES [MONTHS]	RESTRICTION
A. AV-Nodal Reentrant Tachycardia						
1	m	53	none	rotary-wing	3	OML for 4 mo
2	m	51	none	rotary-wing	1.5	none
3	m	57	Hypertension, CAD (stenoses < 50%)	jet (not as responsible pilot)	8.5 (after centrifuge testing)	OML (permanent)
5	m	46	none	jet	quit flying for other reasons	-
14	m	38	none	RPA, fixed wing	5	OML for 1 yr
15	m	21	none	jet (applicant)	6	none
18	m	25	none	jet (applicant)	6.5	none (after centrifuge testing)
19	m	17	Mitral valve prolapsed, pauses up to 2.4 s (sinuatrial block)	fixed-wing (applicant)	50	OML for 4 yr, no fast jet, no helicopter
20	m	23	none	jet (in flight training)	5	none (after centrifuge testing)
23	m	10	none	applicant (quit flying for other reasons)	99 (initial examination 8 yr after ablation)	none
24	m	18	none	applicant (aircraft type still unclear)	37 (subsequent ablation for PAC, initial examination 3 yr after last ablation)	none
B. Accessory Pathway						
7	m	41	Hypertension	jet	6	none
8	m	54	none	rotary-wing	7.5	none
12	m	27	none	jet	4 (2 subsequent ablations for other arrhythmia)	OML until 7 mo after 3 rd ablation
13	m	24	none	jet	2.5	OML for 9.5 mo
21	m	19	none	applicant (quit flying for other reasons)	17	none
22	m	20	none	applicant (quit military)	unfit because of unclear symptoms post ablation	-
25	m	30	none	applicant (aircraft type still unclear)	10	none
26	m	46	Diab. mell. Type 2, mild hypertension	-	10 (since last ablation)	none
34	m	23	none	-	initial examination 12 yr after last ablation	none
C. Atrial Tachycardia						
6	m	38	none	rotary-wing	3	none
10	m	32	none	jet	4 (after subsequent ablation for AFib)	none (after centrifuge testing)
11	m	37	none	rotary-wing	3	OML for 4.5 yr
17	m	27	none	fixed-wing	4	OML for 5 yr
31	f	37	none	-	8	none
D. Atrial Fibrillation						
4	m	47	Hypertension	fixed wing	7	OML (permanent)
9	m	55	none	fixed wing	2.5	OML (permanent)
10	m	32	none	jet	4	none (after centrifuge testing)
12	m	27	none	jet	3.5	OML for 7 mo
27	m	57	COPD, atherosclerosis, hypertension	-	26	none
29	m	50	none	-	5	none
30	m	41	mild hypertension	-	6 (quit flying duties after repeat ablation)	none
33	m	32	Myocarditis	-	8 (after last ablation)	none

*Aircrew may occur in more than one sections if ablated for different arrhythmias. Number 1 to 25 were pilots or pilot applicants, 26 to 36 were nonpilot aircrew. No. = number; CAD = coronary artery disease; OML = operational mulicrew restriction; RPA = Remotely Piloted Aircraft; PAC = Premature Atrial Complex; AFib = Atrial Fibrillation; COPD = Chronic Obstructive Pulmonary Disease.

Table II. Aeromedical Disposition and Additional Information Influencing These Decisions for Catheter Ablations in German Military Aircrew Assessed Between 2004 and 2020.*

NO.	SEX	AGE AT FIRST ABLATION [YEARS]	CONCOMITANT DISEASES	AIRCRAFT TYPE FLOWN	TIME FROM ABLATION TO RETURN TO FLYING DUTIES [MONTHS]	RESTRICTION
A. Typical Atrial Flutter						
4	m	47	Hypertension	fixed wing	3.5 (7 after last ablation)	OML (permanent)
9	m	55	none	fixed wing	2.5	OML (permanent)
12	m	27	none	jet	4	OML for 7 mo (after last ablation)
26	m	46	Diab. Mell. Type 2, mild hypertension	-	10	none
B. Atypical Atrial Flutter						
12	m	27	none	jet	3.5	OML for 7 mo
33	m	32	Myocarditis	-	8	none
C. Premature Ventricular Complexes						
16	m	32	none	fixed wing	11	OML for 2.5 yr
32	m	41	Hypertension, borreliosis prior to ablation	-	30	none
35	f	26	none	-	quit flying duties after ablation	-
36	m	35	none	-	initial examination 4.5 yr after last ablation	none
D. Premature Atrial Complexes / Nonsustained Atrial Tachycardia						
24	m	18	none	applicant (aircraft type still unclear)	37 (initial examination 3 yr after ablation)	none
28	m	47	none	-	6	none

*Aircrew may occur in more than one sections if ablated for different arrhythmias. Number 1 to 25 were pilots or pilot applicants, 26 to 36 were nonpilot aircrew. No. = number; OML = operational multicrew restriction.

these cases, two repeat ablations were required at 10 and 31 mo. Three of eight aircrew required ablation for atrial fibrillation. Two underwent one repeat ablation at 7 and 32 mo, respectively; the third, with known myocarditis, required two repeat ablations at 11 and 31 mo, following an initial ablation for atypical atrial flutter.

Multiple randomized controlled trials have compared antiarrhythmic drugs with catheter ablation, showing superiority of AF catheter ablation in arrhythmia-free survival.^{14,17,19} Additionally, many antiarrhythmic drugs are incompatible with flying roles due to their adverse side effect profile. However, in AF, many patients require repeat procedures and late recurrence is not infrequent.^{11,21,27} As a result, a permanent multicrew (OML) restriction for pilots is usually required after ablation for AF and atypical atrial flutter.

In three of four aircrew ablated for premature ventricular complexes (PVC) the focus could be located in the right ventricular outflow tract. Two of them were ablated successfully in the long term, in one aircrew arrhythmia burden could only be slightly reduced. But as he was almost asymptomatic after ablation, reablation was renounced. In the fourth case, the focus was located in a different area near the left ventricular apex. In this case, reablation was required after 2 mo due to recurrence. After successful PVC ablation an OML restriction for 1 yr will often be recommended. If the symptoms were mild prior to ablation with minimal distraction potential, unrestricted flying might be possible in selected cases, especially if PVCs originated from the RVOT.

Two aircrew with atrial ectopy were ablated without recurrence. In one of them, episodes of nonsustained atrial

tachycardia were also captured. In both cases, the focus was located within the pulmonary veins; they were both successfully treated by isolation of the respective veins.

Different nations usually have their own military regulatory authorities for aircrew licensing and aeromedical assessment. They are all similar to each other and to civil regulations. According to the German military regulation for aeromedical assessment, aircrew are primarily unfit after catheter ablation (Joint Medical Headquarters, Koblenz, Germany, 2018). Fit assessment will usually require a waiver according to the German waiver system after thorough cardiological evaluation at the GAFCAM. Restrictions like OML and their duration, however, are not specified in the regulations and are subject to the decision of the medical experts at the GAFCAM, which explains the variable decisions made in this study. This offers the possibility to adapt the decision to the individual situation of aircrew. Applicants might, for example, not be restricted to OML after catheter ablation, because initial flight training is usually preceded by a 3-yr study at the Bundeswehr University in Munich, offering an adequate observation period, and because an OML may significantly reduce their eligibility. Applicants having undergone successful catheter ablation of an AVNRT or AP and having proven rhythm stability for years before entry might also not be restricted. Fast jet pilots may return to unrestricted flying after catheter ablation with a very low likelihood of recurrence, an adequate observation period, and centrifuge testing. On the other hand, indication for catheter ablation may be stricter especially in pilots of high-performance aircraft, who may already be ablated after one single arrhythmia episode.

This flexibility imposes a very high responsibility on the medical specialists at the GAFCAM, who may react on individual requirements, but must not risk flight safety by any means. These decisions demand a profound knowledge of different arrhythmias, ablation techniques, complications, and recurrence rates by the Head of the Internal Medicine Department, who may not be a specialized electrophysiologist. Fortunately, no in-flight incident which may have been caused by an arrhythmia recurrence after catheter ablation has been reported in the German Armed Forces so far.

To facilitate decision making by responsible aeromedical experts, the North Atlantic Treaty Organization (NATO) Occupational Cardiology in Military Aircrew Working Group has published cardiological consensus recommendations, including recommendations for observation periods and restrictions after catheter ablations of most relevant arrhythmias.¹²

This study has strengths and limitations. A particular strength of this study is the complete overview of all aircrew who underwent catheter ablation over a 17-yr period, as they were all aeromedically assessed at the GAFCAM. The combination of a digital institute information system and paper records with detailed medical reports by the treating physicians provides comprehensive information about each ablation in these aircrew. The main limitation is the small overall number of ablation cases; however, this reflects the likely prevalence in a medically screened and preselected cohort.

Catheter ablation is a widely used and effective treatment option for many tachyarrhythmic disorders. As many arrhythmias occur in healthy individuals without underlying cardiac or noncardiac disease, cases of catheter ablation are not uncommon in medically screened and preselected cohorts such as aircrew or other individuals undergoing high-hazard occupations, as in the general population. In our aircrew cohort, nearly all ablated individuals were able to return to flying duties, albeit with restrictions for some. Appropriate restrictions depend on criteria including the ablated arrhythmia, complications of the ablation procedure, symptoms prior to ablation, and taking into consideration concomitant or underlying disease. Therefore, an understanding of different arrhythmias, ablation techniques, and long-term success rates for individual conditions is essential for the AME and for the responsible licensing authority. Close cooperation with a specialized electrophysiologist is necessary to optimize the care and occupational health of aircrew.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper reflects the opinion of the authors and not necessarily the opinion of the German Federal Ministry of Defense or the Surgeon General of the German Air Force.

Financial Disclosure Statement: The authors have no financial relationship to disclose.

Authors and Affiliations: Norbert Guettler, M.D., M.A., German Air Force Centre of Aerospace Medicine, Fuerstenfeldbruck and Cologne, Germany and Department of Cardiology, Justus Liebig University, University Hospital

Giessen, Medical Clinic I, Giessen, Germany; Edward Nicol, M.D., M.B.A., Department of Cardiology, Royal Brompton Hospital, London, UK, and Faculty of Medicine, Imperial College, London, UK; and Stefan Sammito, Assist. Prof. Dr., Department of Occupational Medicine, Medical Faculty, Otto von Guericke University, Magdeburg, and German Air Force Centre of Aerospace Medicine, Fuerstenfeldbruck and Cologne, Germany.

REFERENCES

1. Anguera I, Brugada J, Roba M, Mont L, Aguinaga L, et al. Outcomes after radiofrequency catheter ablation of atrial tachycardia. *Am J Cardiol.* 2001; 87(7):886–890.
2. Biviano AB, Bian W, Whang W, Leitner J, Dizon J, et al. Focal left atrial tachycardias not associated with prior catheter ablation for atrial fibrillation: clinical and electrophysiological characteristics. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2012; 35(1):17–27.
3. Brugada J, Katritsis DG, Arbelo E, Arribas F, Bax JJ, et al. 2019 ESC Guidelines for the management of patients with supraventricular tachycardia. The Task Force for the management of patients with supraventricular tachycardia of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J.* 2020; 41(5):655–720.
4. Chen SA, Chiang CE, Yang CJ, Cheng CC, Wu TJ, et al. Sustained atrial tachycardia in adult patients. Electrophysiological characteristics, pharmacological response, possible mechanisms, and effects of radiofrequency ablation. *Circulation.* 1994; 90(3):1262–1278.
5. Davenport ED, Rupp KA, Palileo E, Haynes J. Asymptomatic Wolff-Parkinson-White Pattern ECG in USAF Aviators. *Aerosp Med Hum Perform.* 2017; 88(1):56–60.
6. De Bortoli A, Shi LB, Ohm OJ, Hoff PI, Schuster P, et al. Incidence and clinical predictors of subsequent atrial fibrillation requiring additional ablation after cavotricuspid isthmus ablation for typical atrial flutter. *Scand Cardiovasc J.* 2017; 51(3):123–128.
7. European Union Aviation Safety Agency (EASA). Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Part-MED. Medical requirements for air crew. Issue 2, 28 January 2019. Cologne (Germany): EASA; 2019.
8. European Union Aviation Safety Agency (EASA). Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Part ATCO.MED. Medical requirements for air traffic controllers. Issue 1. 13 March 2015. Cologne (Germany): EASA; 2015.
9. Federal Aviation Administration (FAA). Guide for aviation medical examiners. Last update: 29 September 2021. Washington (DC): FAA; 2021.
10. Feldman A, Voskoboinik A, Kumar S, Spence S, Morton JB, et al. Predictors of acute and long-term success of slow pathway ablation for atrioventricular nodal reentrant tachycardia: a single center series of 1,419 consecutive patients. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2011; 34(8):927–933.
11. Gaita F, Scaglione M, Battaglia A, Matta M, Gallo C, et al. Very long-term outcome following transcatheter ablation of atrial fibrillation. Are results maintained after 10 years of follow up? *Europace.* 2018; 20(3):443–450.
12. Guettler N, Bron D, Manen O, Gray G, Syburra T, et al. Management of cardiac conduction abnormalities and arrhythmia in aircrew. *Heart.* 2019; 105(Suppl 1):s38–s49.
13. Hindricks G, Potpara T, Dagres N, Arbelo E, Bax JJ, et al. 2020 ESC Guidelines for the diagnosis and management of atrial fibrillation developed in collaboration with the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS): The Task Force for the diagnosis and management of atrial fibrillation of the European Society of Cardiology (ESC) developed with the special contribution of the European Heart Rhythm Association (EHRA) of the ESC. *Eur Heart J.* 2021; 42(5):373–498.
14. Jais P, Cauchemez B, Macle L, Daoud E, Khairy P, et al. Catheter ablation versus antiarrhythmic drugs for atrial fibrillation: the A4 study. [Published erratum appears in *Circulation.* 2009; 120(10):e83]. *Circulation.* 2008; 118(24):2498–2505.

15. Joint Aviation Authorities (JAA). JAR-FCL 3, Amendment 1, Section 2, Chapter 2 – Aviation Cardiology. Hoofddorp (The Netherlands): JAA; 2000.
16. Kubuš P, Vít P, Gebauer RA, Materna O, Janoušek J. Electrophysiologic profile and results of invasive risk stratification in asymptomatic children and adolescents with the Wolff-Parkinson-White electrocardiographic pattern. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2014; 7(2):218–223.
17. Mont L, Bisbal F, Hernández-Madrid A, Pérez-Castellano N, Viñolas X, et al. Catheter ablation vs. antiarrhythmic drug treatment of persistent atrial fibrillation: a multicentre, randomized, controlled trial (SARA study). *Eur Heart J.* 2014; 35(8):501–507.
18. Moore JP, Kannankeril PJ, Fish FA. Isoproterenol administration during general anesthesia for the evaluation of children with ventricular preexcitation. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2011; 4(1):73–78.
19. Morillo CA, Verma A, Connolly SJ, Kuck KH, Nair GM, et al. RAAFT-2 Investigators. Radiofrequency ablation vs. antiarrhythmic drugs as first-line treatment of paroxysmal atrial fibrillation (RAAFT-2): a randomized trial. [Published errata appear in *JAMA* 2014; 311(22):2337, and *JAMA* 2021; 326(4):360]. *JAMA.* 2014; 311(7):692–700.
20. Nicol ED, Rienks R, Gray G, Guettler NJ, Manen O, et al. An introduction to aviation cardiology. *Heart.* 2019; 105(Suppl 1):s3–s8.
21. Ouyang F, Tilz R, Chun J, Schmidt B, Wissner E, et al. Long-term results of catheter ablation in paroxysmal atrial fibrillation: lessons from a 5-year follow-up. *Circulation.* 2010; 122(23):2368–2377.
22. Poutiainen AM, Koistinen MJ, Airaksinen KE, Hartikainen EK, Kettunen RV, et al. Prevalence and natural course of ectopic atrial tachycardia. *Eur Heart J.* 1999; 20(9):694–700.
23. Priori SG, Blomström-Lundqvist C, Mazzanti A, Blom N, Borggrefe M, et al. 2015 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: The Task Force for the Management of Patients with Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J.* 2015; 36(41):2793–2867.
24. Schwartzman D, Callans DJ, Gottlieb CD, Dillon SM, Movsowitz C, Marchlinski FE. Conduction block in the inferior vena caval-tricuspid valve isthmus: association with outcome of radiofrequency ablation of type I atrial flutter. *J Am Coll Cardiol.* 1996; 28(6):1519–1531.
25. Telishevska M, Hebe J, Paul T, Nürnberg JH, Krause U, et al. Catheter ablation in ASymptomatic PEDiatric patients with ventricular preexcitation: results from the multicenter “CASPED” study. *Clin Res Cardiol.* 2019; 108(6):683–690.
26. United States Air Force. Medical Service. Air Force Waiver Guide. Washington, DC. Last update 02 December 2020. Washington (DC): USAF; 2020.
27. Wokhlu A, Hodge DO, Monahan KH, Asirvatham SJ, Friedman PA, et al. Long-term outcome of atrial fibrillation ablation: impact and predictors of very late recurrence. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2010; 21(10):1071–1078.



IP: 91.221.58.21 On: Thu, 20 Oct 2022 05:27:41
 Copyright: Aerospace Medical Association
 Delivered by Ingenta



Article

The Prevalence of Dietary Supplement Usage in Military Aviators

Stefan Sammito ^{1,2,*}, Oliver Maria Erley ¹ , Dirk-Matthias Rose ³ and Norbert Güttler ¹

- ¹ German Air Force Centre of Aerospace Medicine, Section Experimental Aerospace Medicine Research, Flughafenstrasse 1, 51147 Cologne, Germany; olivererley@bundeswehr.org (O.M.E.); norbertguettler@bundeswehr.org (N.G.)
- ² Occupational Medicine, Faculty of Medicine, Otto von Guericke University of Magdeburg, Leipziger Straße 44, 39120 Magdeburg, Germany
- ³ Institute of Occupational, Community and Environmental Medicine, University Medicine, Johannes Gutenberg University of Mainz, Kupferbergterrasse 17, 55116 Mainz, Germany; dirk-matthias.rose@unimedizin-mainz.de
- * Correspondence: stefansammito@bundeswehr.org

Abstract: Background: The prevalence of dietary supplement (DS) and energy drink (ED) usage in military personnel differs from branch to branch and is between 55% and 76% (higher values in special operations forces). Aviators with highly demanding tasks might be especially interested in using dietary supplements. To date, there are only limited data available for this special profession inside the military. Methods: An internet-based survey was conducted on the prevalence of DS and ED usage, the reasons for their usage and the place of purchase for all wings of the German Armed Forces. Results: Of the 181 pilots who participated in the survey, 34% used DSs and 16% EDs. Usage was linked to sports activities but not to the type of aircraft. DSs were purchased on the internet by 50% of the respondents; mostly protein supplements, magnesium and omega-3 fatty acids. Only 42% said they would feel an effect from taking DSs. Conclusions: Although the present study showed that the prevalence of usage was comparable to that of the civilian population, the sources of supply and the range of the substances taken give cause for concern. This calls for education and information campaigns to make the pilots aware of the possible risks to their health.

Keywords: pilot; human performance; vitamins; stress; nutrition; dietary supplement



Citation: Sammito, S.; Erley, O.M.; Rose, D.-M.; Güttler, N. The Prevalence of Dietary Supplement Usage in Military Aviators. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 5017. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095017>

Academic Editor: Jooyoung Kim

Received: 4 March 2022

Accepted: 15 April 2022

Published: 20 April 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

The term “dietary supplements” (DSs) comprises products that can be purchased without prescription and are used in many countries by a mostly healthy population to supplement their daily diet with vitamins, minerals and trace elements. In the last four decades, the intake of DSs by the US population has increased continuously [1,2]. Currently, about every second adult consumes DSs daily (49–54%) and two thirds of adults consume DSs regularly (64–69%) [1,2]. The annual turnover of DSs regularly exceeds 1 billion USD [3,4]. The intake of DSs differs between the United States and Europe, e.g., in the German population, only 18–50% of all adults take DSs [5–7].

Apart from supplementing a diet allegedly lacking in vitamins, minerals and trace elements, amateur and top athletes, in particular, take DSs not only to promote their health, but also to enhance their (physical) performance or to achieve better results in training and regeneration [8,9]. In this group, regular intake of DSs is higher than in the part of the population which is not physically active [1,9] and correlates with frequency of the physical activity [10]. This particularly applies to members of the armed forces. The prevalence of the use of DSs and energy drinks (EDs) differs between each branch of the military service and is between 55% and 76% in soldiers [11]. Soldiers using DSs stated that they spend between 11–50 USD per month on DSs [4,12].

The intake of DSs is viewed critically [4]. When used with the aim of preventing cardiovascular diseases, antioxidant vitamins showed no [13], or even negative, effects [14].

A review conducted to assess the effectiveness of calcium supplementation for improving bone mineral density in healthy children also did not show any significant benefit [15]. Moreover, a majority of the DS examined was contaminated with androgenic and anabolic substances or prohormones [16–18].

Among members of the armed forces, the prevalence of DS use is even higher in members of special operations forces [11]. Although data document the intake of DSs in members of the air force, no systematic review exists concerning pilots in particular. Due to the extraordinary professional demands on pilots in military flight operations (e.g., working under high g-load and low ambient pressure), the intake of DSs in this area is of high interest. However, data available for this specific occupational group within the military is so far very limited [19–21].

The aim of this survey in the German Armed Forces is (i) to evaluate the intake prevalence of DSs and EDs by military pilots and (ii) to determine the reasons for their use and (iii) the places of their purchase.

2. Materials and Methods

An online survey was created using LimeSurvey (LimeSurvey GmbH, Hamburg, Germany) [22]. At the beginning of the survey, all wing commanders were contacted and provided with information about the background of the study and the participation modalities. The commanders were asked to forward the information to all active pilots in their wings with a request to participate. In addition to jet pilots, fixed-wing, rotary-wing, and drone pilots were asked to participate.

The questionnaire (minimum ten items) included personal demographic data concerning gender, age, body size and weight, as well as questions on frequency and type of sport activities, current aircraft type flown and usage of dietary supplements. If such supplements were used, additional questions were asked about the name of the products, the frequency of use and the expected effect, the place where the products had been purchased and the persons who had recommended their use (3 items per DS and 2 additional general items). Further questions were asked on the usage of energy drinks and on how often and why they were consumed (3 items).

All questions could be answered independently, and it was possible to leave any of the questions unanswered. Participation was possible online from 16 November 2020 to 24 January 2021 and by means of any end-user device (workplace computer, private computer, tablet, smartphone); the display of the questionnaire was optimized for all of these devices. On average, it took the participants 3:36 min to complete the survey (min: 0:24 min, max: 28:36 min).

At the beginning of the online survey, all participants were informed about the objective and purpose of the study and about the protection of data privacy. Participation in the study was only possible by means of active continuation (informal consensus). The study had been deliberated and approved by the representative bodies of the Federal Ministry of Defense (reference number: 988 (192-24)). In accordance with the regulations established by the Medical Association of Bavaria, there was no need to obtain an ethic vote for this anonymous survey.

A total of 202 participants were recorded during the survey period. 19 participants were excluded from further analysis due to lacking data, and two had no pilot's license. In total, 181 pilots (179 male, 2 female; median age: 37 years [min: 24 years, max: 59 years]) were included (see Figure 1).

All data were exported from the LimeSurvey online survey software to IBM SPSS Statistics Version 24 (IBM, Armonk, NY, USA) and analyzed descriptively. Differences between independent groups were examined using a Chi² test or by Kruskal-Wallis-Test, with a significance level of $p < 0.05$.

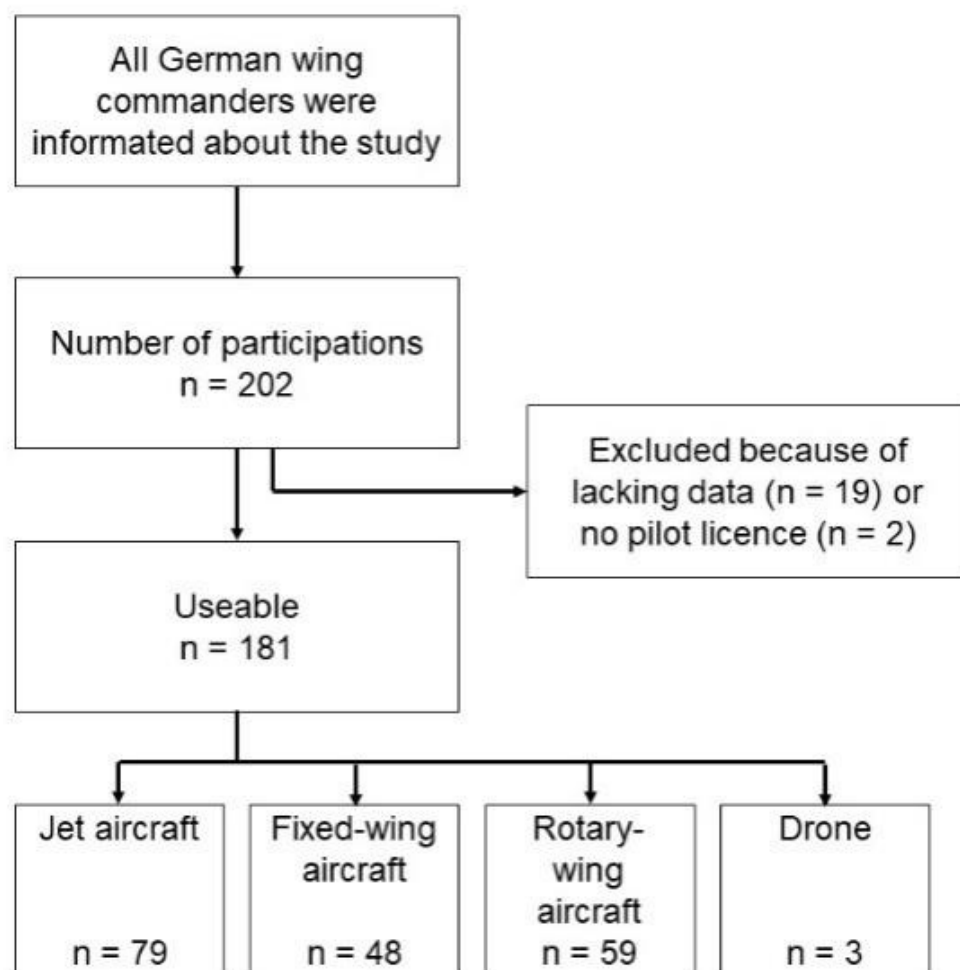


Figure 1. Process of test subject acquisition.

3. Results

Seventy-one of 181 pilots flew jet aircraft, 59 rotary-wing aircraft and 48 fixed-wing aircraft. Three participants were drone pilots, who have not been considered for further analysis due to their small number. According to their own statements, 34% (60/178) of the pilots regularly took DSs and 16% (29/178) regularly consumed EDs. The median number of different DSs taken was two (min: 1, max: 7) and DSs were taken, in median, every day (min: every day, max: once every three months). EDs were consumed at least weekly, but more often by 16% of the pilots; 8% of the pilots used EDs five times or more per week. 64% of the pilots (17/26) did not give a reason for having EDs; 19% (5/26) said they drank EDs to fight fatigue and 15% (4/26) did so because of the taste.

There was no significant difference between the three types of aircraft with regard to the gender of the pilots, the pilots' age and self-assessment of their sporting activities, or the prevalence of DS and ED usage ($p > 0.05$ in each case) (see Table 1). There was a significant difference in the intake of DSs between the group with and without sports activities (37% vs. 15%, $p = 0.032$, OR 2.395 [95% CI: 0.949–6.040]). The intake of EDs was comparable in these two groups (17% vs. 12%, $p = 0.478$, OR 1.482 [95% CI: 0.484–4.545]).

50% of the pilots obtained their DS online, followed by supermarket purchases (27%). Only 17% got their DS from a pharmacy and 10% from their military physician. Most of the pilots decided to take a DS due to personal studies on the subject, while 23% received a recommendation by their military physician and 16% by fellow sportsmen (Tables 2 and 3).

Protein supplements (33%), magnesium (22%) and omega-3 fatty acids (20%) were the most frequently taken DSs. However, the range of DSs taken is widely spread (see Table 4).

Table 1. Number of participants for the entire group and for the three types of aircraft (a/c) with median (interquartile-range) for age and number of males, sports activities, prevalence of the intake of dietary supplements and energy drinks.

	Total	Jet a/c	Fixed-Wing a/c	Helicopters	<i>p</i>
<i>n</i>	178	71 (40%)	48 (27%)	59 (33%)	
<i>n</i> males	176	70 (99%)	48 (100%)	58 (98%)	0.680
Age [years]		36 (9)	39 (14)	36 (11)	0.195
Active in sports	152 (85%)	62 (87%)	38 (79%)	52 (88%)	0.357
Intake of dietary supplements	60 (34%)	22 (31%)	20 (42%)	18 (31%)	0.393
Intake of energy drinks	29 (16%)	16 (23%)	5 (10%)	8 (14%)	0.168

Table 2. Replies to the question of where dietary supplements are purchased/obtained from, multiple replies were possible, *n* = 60.

Dietary Supplements Purchased/Obtained from	Number
Internet	30 (50%)
Supermarket	16 (27%)
Pharmacy	10 (17%)
Physician	6 (10%)
Sports store	2 (3%)
Gym	1 (2%)
Not specified	10 (17%)

Table 3. Replies to the question of who recommended the intake of dietary supplements, multiple replies were possible, *n* = 60.

Intake of Dietary Supplements Recommended by	Number
Self-study	35 (58%)
Unit physician	14 (23%)
Fellow sportsmen	10 (17%)
Internet forums	7 (12%)
Comrades	6 (10%)
Medical personnel other than physicians	4 (7%)
Friends and family	2 (3%)
Sports magazines	2 (3%)
Not specified	13 (22%)

Table 4. Groups of dietary supplements used, percentages based on the total number of pilots taking dietary supplements on a regular basis (median every day), sorted by number (descending), *n* = 60.

Dietary Supplement	Number
Protein supplements	20 (33%)
Magnesium	13 (22%)
Omega-3 fatty acids	12 (20%)
Vitamin D	10 (17%)
Creatine	7 (12%)
Multivitamin supplements	7 (12%)
Vitamin B	6 (10%)
Zinc	6 (10%)
Arginine	5 (8%)
Caffeine	5 (8%)
Iron	5 (8%)
Branched-chain amino acids/BCAA	4 (7%)
Calcium	4 (7%)
Selenium	4 (7%)
Coenzyme Q10	1 (2%)

Table 4. *Cont.*

Dietary Supplement	Number
Glutamine	1 (2%)
L-Carnitine	1 (2%)
Potassium	1 (2%)
Taurine	1 (2%)
Vitamin A	1 (2%)
Vitamin E	1 (2%)
Other supplements	4 (7%)
Not specified	8 (13%)

Forty-two percent of the pilots regularly taking DSs stated that they realized the desired effect; 11 pilots noticed no effect from DSs (18%). In 36% (29/143), DSs were taken to enhance performance, in 22% (31/143) for health reasons and in 20% (29/143) for nutritional reasons. In the remaining cases, the pilots stated other reasons (2%, 3/143) or did not give a reason for taking DSs (20%, 29/143).

4. Discussion

Studies about the usage of DSs and of EDs in the highly specialized profession of military aviators are rare and were conducted only in small groups [19–21]. With the present study, further insights could be gained, especially with regards to the DSs taken, the reasons for taking them and the sources of supply. This knowledge is of great value if, in the context of preventive education, the advantages and risks of DSs and EDs are explained by professionals.

In this survey, an average of 34% of the respondents (31–42%, depending on the type of aircraft) reported using DSs and 16% EDs regularly. This intake prevalence is well below the intake prevalence of 74% for DSs and 51–79% for EDs referred to in two previously published studies concerning military pilots [19–21] and also below the intake prevalence of DSs (74% vs. 55–60%, depending on the branch) [11] or EDs (27%) among soldiers in general [23]. The intake in the analyzed group was not higher than in the general civilian population, with an average DS intake of 18–50% in the adult population [5–7], and lower than the intake in the USA (49–54% daily and 64–69% regular consumption [1,2]). Regular surveys on DS intake in the civilian population are rare, and the literature cited is in part from the beginning of this century. This points to a gap in scientific knowledge. It can be assumed that the view on DS intake is changing in the civilian population.

Although the survey was conducted anonymously, it might be possible that the examined group of active pilots was afraid of personal disadvantages and that pilots who regularly consume DSs therefore did not participate and could therefore be underrepresented. This, as well as the determined intake prevalence, the types of DS and ED consumed, the declared reasons for intake and the sources of supply, should be reason enough to inform pilots about possible advantages and disadvantages of DSs and EDs. In Mannhart's review about the usefulness of DSs in sports, he stated that only a small fraction of the possible available dietary supplements has a direct or indirect positive influence and that a large number of the DSs can have harmful effects [24,25]. Both the Scientific Committee on Food of the European Commission and the International Olympic Committee concluded that "scientific evidence is lacking or inconsistent in supporting recommendations for nutritional intakes (for sportsmen) beyond the accepted dietary guidelines" [26] and that "the focus should be on consuming a nutrient-rich, well-chosen diet to allow for growth while maintaining a healthy body composition" [27].

There might be a medical indication for an intake (iron supplements (8%) or vitamin D supplements (17%)), which would possibly explain why they are widely recommended by physicians (23%). A high number of pilots reported the intake of DSs with ingredients not lacking in the general population and without professional recommendation. The intake of DSs without any need to do so, coupled with possible adverse side-effects, is questionable.

The high number of pilots who consumed DSs in association with sport activities (e.g., protein supplements, magnesium, creatine) is concordant with findings in the systematic review by Knapik et al. for military personnel [11]. According to 36% of all pilots, the intake of DSs enhanced their performance. This is an indicator for the motivation that lies behind their consumption. As the survey was conducted anonymously, it cannot be determined retrospectively whether there were real deficiencies or whether the supplements were taken for prophylactic reasons. Unfortunately, the present study cannot provide further insights concerning this matter.

The high proportion of pilots who obtain their DSs either from the internet (50%) or from supermarkets (27%) should be a particular cause for concern, since many DSs are regularly contaminated with prohormones or other androgenic substances [16–18]. Taking into account that many of the pilots consume DSs as a result of their own research and a small, but alarming, portion of high-performance athletes do not even know whether or not their DSs are on the list of doping substances [27], active military pilots should be informed and advised about ways to purposefully use DSs.

Besides the strength of the present study there are some limitations to be taken into account. One of the strengths of the survey is that it was anonymous and could be carried out by the respondents from any internet-enabled device, either at the office or at home. This anonymization was meant to ensure that the barrier to participate was low and that the pilots were not concerned about adverse effects; for example, that they might be grounded because of having completed the questionnaire, or that their lack of supplementation could be interpreted as a sign that they are not taking enough care of their health. Another strength is that all Bundeswehr units with active pilots, including drone pilots, were contacted. Thus, the design of the study did not narrow it down to specific aircraft types and branches of service, but addressed active wings in the Air Force (jet, fixed-wing and rotary-wing aircraft), the Army (rotary-wing aircraft) and the Navy (fixed-wing and rotary-wing aircraft).

The fact that this survey was based on voluntary participation means it is not a representative study of all active military pilots. However, previous surveys among military pilots were mostly of smaller numbers. Since pilots who regularly take dietary supplements may not have participated on purpose because of being afraid that this could have negative repercussions with regards to their pilot's license, the intake prevalence shown by the study could appear to be too low. At the same time, pilots who do not regularly consume DSs may not have considered themselves as being addressed by the study and may therefore not have participated in the survey. However, these factors should not have a major impact on the study, as the intake prevalence among the entire German population is in a comparable order of magnitude [5–7]. Additionally, wing commanders may not have forwarded the information to all active pilots in the wing with the request to participate. Therefore, it is possible that some pilots who wanted to participate did not get this information. On the other hand, this approach was the only way to bring the information into the different wings across Germany.

The reason for the large difference between minimum and maximum time to complete the questionnaire can be explained by the fact that only participants who declared themselves as consuming DSs and/or EDs were asked to provide more information about their specific use of these supplements. Participants who did not use DSs and EDs were only asked to answer 10 questions, which could be done in a short time.

The survey method employed has been shown to be appropriate for answering scientific questions. A goal of further surveys should be to increase the number of participants and maybe link the survey to periodic medical examinations to answer open questions about medically prescribed DSs.

The presented study closes some gaps in scientific literature, especially for the occupational group of military pilots. Further research projects should focus on educational and interventional strategies to reduce the DS intake where DSs are not necessary and to inform pilots about the risks of DSs that are bought from dubitable sources.

5. Conclusions

This study is the third published study about intake of DSs worldwide and the first one to also investigate frequencies and reasons for intake of DSs among active German military pilots. There are two corollaries. First, the usage of DSs as a reasonable preventive medical measure should be discussed with a flight surgeon in advance. Second, in view of possible health risks of DSs on one hand, and the finding that many pilots take DSs regularly and that they mainly buy them via the internet or in supermarkets on the other hand, it is necessary for there to be better informational status about DSs in this group.

Author Contributions: Conceptualization, S.S., O.M.E. and N.G.; methodology, S.S., O.M.E. and N.G.; software D.-M.R.; data collection, S.S. and D.-M.R.; formal analysis, S.S.; writing—original draft preparation, S.S.; writing—review and editing, S.S., O.M.E. and N.G.; supervision, D.-M.R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: In accordance with the regulations established by the Medical Association of Bavaria, there was no need to obtain an ethic vote for this anonymous survey.

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The data that support the findings of this study are available from the Federal Ministry of Defense. Data are available on reasonable request.

Conflicts of Interest: S.S., O.M.E. and N.G. declared that they are active Bundeswehr Medical Service officers and work for the Federal Ministry of Defense. D.-M.R. declared that he has got financial support from the Ministry of Defense for other studies.

References

1. Dickinson, A.; MacKay, D. Health habits and other characteristics of dietary supplement users: A review. *Nutr. J.* **2014**, *13*, 14. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Dickinson, A.; Blatman, J.; El-Dash, N.; Franco, J.C. Consumer usage and reasons for using dietary supplements: Report of a series of surveys. *J. Am. Coll. Nutr.* **2014**, *33*, 176–182. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Balluz, L.S.; Kieszak, S.M.; Philen, R.M.; Mulinare, J. Vitamin and mineral supplement use in the United States. Results from the third National Health and Nutrition Examination Survey. *Arch. Fam. Med.* **2000**, *9*, 258–262. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Greenwood, M.R.; Oria, M. (Eds.) *Use of Dietary Supplements by Military Personnel*; The National Academic Press: Washington, DC, USA, 2008; ISBN 9780309116176.
5. Bodenbach, S.; Weinkauff, B. Die Einnahme von Vitaminpräparaten in Deutschland. *Z. Ernähr.* **1997**, *36*, 57–58.
6. Reinert, A.; Rohrmann, S.; Becker, N.; Linseisen, J. Lifestyle and diet in people using dietary supplements: A German cohort study. *Eur. J. Nutr.* **2007**, *46*, 165–173. [[CrossRef](#)]
7. Schwab, S.; Heier, M.; Schneider, A.; Fischer, B.; Huth, C.; Peters, A.; Thorand, B. The use of dietary supplements among older persons in southern Germany—Results from the KORA-age study. *J. Nutr. Health Aging* **2014**, *18*, 510–519. [[CrossRef](#)]
8. Braun, H.; Koehler, K.; Geyer, H.; Kleiner, J.; Mester, J.; Schanzer, W. Dietary supplement use among elite young German athletes. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **2009**, *19*, 97–109. [[CrossRef](#)]
9. Knapik, J.J.; Steelman, R.A.; Hoedebecke, S.S.; Austin, K.G.; Farina, E.K.; Lieberman, H.R. Prevalence of Dietary Supplement Use by Athletes: Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* **2016**, *46*, 103–123. [[CrossRef](#)]
10. Striegel, H.; Simon, P.; Wurster, C.; Niess, A.M.; Ulrich, R. The use of nutritional supplements among master athletes. *Int. J. Sports Med.* **2006**, *27*, 236–241. [[CrossRef](#)]
11. Knapik, J.J.; Steelman, R.A.; Hoedebecke, S.S.; Farina, E.K.; Austin, K.G.; Lieberman, H.R. A systematic review and meta-analysis on the prevalence of dietary supplement use by military personnel. *BMC Complement. Altern. Med.* **2014**, *14*, 143. [[CrossRef](#)]
12. Lieberman, H.R.; Stavinoha, T.B.; McGraw, S.M.; White, A.; Hadden, L.S.; Marriott, B.P. Use of dietary supplements among active-duty US Army soldiers. *Am. J. Clin. Nutr.* **2010**, *92*, 985–995. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
13. Myung, S.-K.; Ju, W.; Cho, B.; Oh, S.-W.; Park, S.M.; Koo, B.-K.; Park, B.-J. Efficacy of vitamin and antioxidant supplements in prevention of cardiovascular disease: Systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ* **2013**, *346*, f10. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Vivekananthan, D.P.; Penn, M.S.; Sapp, S.K.; Hsu, A.; Topol, E.J. Use of antioxidant vitamins for the prevention of cardiovascular disease: Meta-analysis of randomised trials. *Lancet* **2003**, *361*, 2017–2023. [[CrossRef](#)]
15. Winzenberg, T.; Shaw, K.; Fryer, J.; Jones, G. Effects of calcium supplementation on bone density in healthy children: Meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ* **2006**, *333*, 775. [[CrossRef](#)]

16. Geyer, H.; Parr, M.K.; Mareck, U.; Reinhart, U.; Schrader, Y.; Schänzer, W. Analysis of non-hormonal nutritional supplements for anabolic-androgenic steroids—Results of an international study. *Int. J. Sports Med.* **2004**, *25*, 124–129. [[CrossRef](#)]
17. Maughan, R.J. Contamination of dietary supplements and positive drug tests in sport. *J. Sports Sci.* **2005**, *23*, 883–889. [[CrossRef](#)]
18. Geyer, H.; Parr, M.K.; Koehler, K.; Mareck, U.; Schänzer, W.; Thevis, M. Nutritional supplements cross-contaminated and faked with doping substances. *J. Mass Spectrom.* **2008**, *43*, 892–902. [[CrossRef](#)]
19. Bukhari, A.S.; Caldwell, J.A.; DiChiara, A.J.; Merrill, E.P.; Wright, A.O.; Cole, R.E.; Hatch-McChesney, A.; McGraw, S.M.; Lieberman, H.R. Caffeine, Energy Beverage Consumption, Fitness, and Sleep in U.S. Army Aviation Personnel. *Aerosp. Med. Hum. Perform.* **2020**, *91*, 641–650. [[CrossRef](#)]
20. Sather, T.E.; Woolsey, C.L.; Delorey, D.R.; Williams, R.D., Jr. Energy Drink and Nutritional Supplement Beliefs Among Naval Aviation Candidates. *Aerosp. Med. Hum. Perform.* **2018**, *89*, 731–736. [[CrossRef](#)]
21. Bukhari, A.S.; Caldwell, J.A.; DiChiara, A.J.; Merrill, E.P.; Wright, A.O.; Lieberman, H.R. Army Aircrew Members perspectives on use of dietary supplements and energy drinks. *Aerosp. Med. Hum. Perform.* **2017**, *88*, 286.
22. Lime Survey GmbH. *Lime Survey: An Open Source Survey Tool*; Lime Survey GmbH: Hamburg, Germany, 2012.
23. Knapik, J.J.; Austin, K.G.; McGraw, S.M.; Leahy, G.D.; Lieberman, H.R. Caffeine consumption among active duty United States Air Force personnel. *Food Chem. Toxicol.* **2017**, *105*, 377–386. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Mannhart, C. State of the art of nutritional supplements in sport. *Schweiz. Z. Sportmed. Sporttraumatologie* **2003**, *51*, 58–79.
25. Maughan, R.J.; Burke, L.M.; Dvorak, J.; Larson-Meyer, D.E.; Peeling, P.; Phillips, S.M.; Rawson, E.S.; Walsh, N.P.; Garthe, I.; Geyer, H.; et al. IOC consensus statement: Dietary supplements and the high-performance athlete. *Br. J. Sports Med.* **2018**, *52*, 439–455. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
26. *Report of the Scientific Committee on Food on Composition and Specification of Food Intended to Meet the Expenditure of Intense Muscular Effort, Especially for Sportsmen*; European Commission; Scientific Committee on Food (Eds.) European Commission: Brussels, Belgium, 2001.
27. Sundgot-Borgen, J.; Berglund, B.; Torstveit, M.K. Nutritional supplements in Norwegian elite athletes—impact of international ranking and advisors. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2003**, *13*, 138–144. [[CrossRef](#)]

Return to flying duties of German military pilots after recovery from COVID-19

Tim Adam,¹ S Sammito,^{2,3} E Nicol,^{4,5} N J Guettler ^{1,6}

¹Internal Medicine, Air Force Centre of Aerospace Medicine, Fuerstenfeldbruck, Germany

²Experimental Aerospace Medicine Research, Air Force Centre of Aerospace Medicine, Cologne, Germany

³Occupational Medicine, Otto von Guericke University Medical Faculty, Magdeburg, Germany

⁴Clinical Aviation Medicine Service, RAF, Birmingham, UK

⁵Cardiology, Royal Brompton Hospital, London, UK

⁶Cardiology, Justus Liebig University, University Hospital Giessen, Medical Clinic, Giessen, Germany

Correspondence to

Col N J Guettler, Internal Medicine, Air Force Centre of Aerospace Medicine, Fuerstenfeldbruck 82256, Germany; guettlern@aol.com

Received 17 March 2022

Accepted 3 July 2022

ABSTRACT

Background Pilots are working in a unique and exacting environment with hypobaric hypoxia and acceleration forces. In military flying, missions are often challenging with possible combat scenarios and in remote areas with impaired infrastructure.

Methods We analysed all German military pilots and pilot candidates with confirmed SARS-CoV-2 infection, who have all been evaluated prior to their return to flying duties between April 2020 and January 2022 by the German Air Force Centre of Aerospace Medicine. Symptoms, comorbidities, scope of investigations, examination results, vaccination status and aeromedical disposition are described.

Results 90 pilots (82 active pilots and 8 pilot candidates) with a median age of 35 years (IQR 15 years) were included. 78 pilots (87%) reported symptoms, with median duration of 6 days. Symptoms included influenza-like symptoms (70.0%), headache (45.6%), impaired physical fitness (37.8%), anosmia/ageusia (36.7%), fever (27.8%), exertional dyspnoea (8.9%), memory and concentration disorders (4.4%), diarrhoea (3.3%) and dyspnoea at rest (2.2%). Only one pilot (1.1%) was hospitalised, two (2.2%) required outpatient treatment. All pilots were allowed to return to unrestricted flying duties after the assessment, with eight (8.9%) reporting ongoing mild symptoms.

Conclusion Due to their demanding working environment, pilots, and other high-hazard employees, should undergo medical evaluation prior to return to their duties to exclude ongoing symptoms and the development of post-acute COVID-19 or post-COVID-19 syndrome. The scope of examinations may depend on the severity of the disease, comorbidities, the vaccination status, the predominant SARS-CoV-2 variant and the type of aircraft flown.

INTRODUCTION

In some patients, the acute symptomatology caused by SARS-CoV-2 infection can be followed by a long COVID-19 or post-COVID-19 syndrome, which is still not completely understood, and which is independent of the severity of the acute disease. Typical symptoms are fatigue, dyspnoea, concentration disorders, joint and muscle aches, anosmia, ageusia, headache, gastrointestinal or cardiac symptoms. These symptoms are reported to last more than 3 months.^{1,2} On 6 October 2021, WHO published a clinical case definition of post-COVID-19 condition³ 2021. According to this definition, post-COVID-19 syndrome occurs in persons with likely or confirmed SARS-CoV-2 infection, usually 3 months after COVID-19 infection, with symptoms lasting for at least 2 months, and which

WHAT IS ALREADY KNOWN ON THIS TOPIC

⇒ COVID-19, caused by an infection with SARS-CoV-2, is a systemic multiorgan disease involving lungs, heart and other organ systems, and possibly leading to post-acute COVID-19 or post-COVID-19 syndrome.

WHAT THIS STUDY ADDS

⇒ Due to the physically demanding and exacting working environment of military pilots, they should undergo medical evaluation prior to return to flying duties to exclude ongoing symptoms, and subclinical pulmonary or cardiac involvement.

HOW THIS STUDY MIGHT AFFECT RESEARCH, PRACTICE AND/OR POLICY

⇒ The scope of examinations should depend on the severity of the disease, comorbidities, vaccination status, the predominant SARS-CoV-2 variant and the type of aircraft flown. Medical evaluation may be done primarily by the local flight surgeon and, in case of severe symptoms or abnormal examination results, by specialists at centres for aerospace medicine.

cannot be explained by a different diagnosis. Long COVID-19 or post COVID-19 symptoms can be challenging to investigate for employees in high-hazard occupations with high physical and/or cognitive demands and may entail significant occupational restrictions.⁴

Pilots are working in a unique and exacting environment with potential hypobaric hypoxia and acceleration forces, especially in high-performance aircraft. In military flying, missions are often challenging, may include combat scenarios and are performed in remote areas with impaired infrastructure.⁵

Some organ manifestations have a direct influence on the ability of pilots to cope with physiological challenges, especially in fast jets.⁶ Flying in high altitude results in hypobaric hypoxia even in pressurised cabins. Fast jet pilots are breathing through oxygen masks. In some jets, positive pressure breathing is required as a countermeasure against high acceleration forces (G forces) and to maintain adequate oxygenation. But the ACE-2 receptor is present on type II alveolar epithelial cells, and SARS-CoV-2 can lead to alveolar injury and interstitial inflammation. Resulting hypoxia is often silent and paradoxically well tolerated in early disease stages, possibly endangering affected pilots during flying operations. ACE is also present in



© Author(s) (or their employer(s)) 2022. No commercial re-use. See rights and permissions. Published by BMJ.

To cite: Adam T, Sammito S, Nicol E, et al. *BMJ Mil Health* Epub ahead of print: [please include Day Month Year]. doi:10.1136/bmjilitary-2022-002122

several kidney cells, where SARS-CoV-2 can lead to injury via an uncontrolled systemic inflammatory response and alterations in renal haemodynamics. Kidney dysfunction can be deteriorated by dehydration during many flying operations, although it preferably occurs in severe disease manifestations. Haematological manifestations by SARS-CoV-2 can be cytokine-induced lymphopenia, systemic inflammation and blood hypercoagulability with an increased risk of thromboembolism during flying. The higher executive function which is required for flying can be impaired by variable nervous system involvement. Finally, G tolerance can be impaired by cardiac involvement including myocarditis, acute myocardial infarction, heart failure and tachyarrhythmias. Many cardiac manifestations would lead to sudden incapacitation with a total disability to fly an aircraft.

After acute disease, the exceptional strain of flying operations can be aggravated if aircrew have not completely recovered from COVID-19 and have the potential to lead to in-flight incidents and ultimately increase the risk of accidents. Aircrew and those working in aviation can be prevented from performing their duties by such symptoms in combination with fatigue and/or anosmia.^{7,8} A medical examination before return to flying duties and sustained medical surveillance are therefore mandatory for pilots, especially in the military. Despite periodical medical examinations (PMEs) of aircrew, studies analysing the ramifications of COVID-19 and post-COVID-19 symptoms on this specific occupational group are lacking.

The aim of this study was to describe symptoms and the course of disease of active German military pilots with confirmed SARS-CoV-2 infection, to analyse their recovery and to derive recommendations for the medical workup before return to flying duties after recovery from COVID-19.

METHODS

We analysed all German military pilots from all services (Air Force, Army and Navy) flying fast jets, fixed wing aircraft, helicopters and remotely piloted aircraft with previous SARS-CoV-2 infection between April 2020 and January 2022. They were all examined at the German Air Force Centre of Aerospace Medicine (GAFCAM) in Fuerstenfeldbruck, Germany, for aeromedical assessment prior to their return to flying duties. Weapon system officers were analysed in the same category as fast jet pilots. Pilot applicants who have already joined the German Armed Forces but who have not yet started their flight training were also captured in the analysis.

The evaluation at the GAFCAM covered pulmonary assessment and an exclusion of cardiac pathology. Other specialties, including ear, nose and throat (ENT), neurology and psychiatry, were also involved depending on the symptomatology. Standard evaluation consisted of medical history, physical examination, laboratory investigations, a 12-lead resting ECG, echocardiography and formal pulmonary function tests (including body plethysmography and diffusion capacity of carbon monoxide to test for cardiac and/or pulmonary pathology). Laboratory testing consisted of blood count, C reactive protein, lactate dehydrogenase, creatine kinase (CK) and its isoenzyme CK-MB. Echocardiography mainly focused on cardiac chamber sizes, left ventricular ejection fraction and the estimation of systolic pulmonary artery pressure in case of a visible tricuspid regurgitation. In case of abnormal findings, CT or MRI was added as appropriate. During pulmonary function testing, the following parameters were captured: FEV₁ (forced expiratory volume in one second in per cent of reference value) and VC (vital capacity in per cent of reference value). DLCO (diffusing capacity of the

lung for carbon monoxide in per cent of reference value) and Krogh index (DLCO/alveolar volume in per cent of reference value) were analysed in 69 of 90 cases. Left ventricular ejection fraction (LVEF) was measured during echocardiography and in cases of mild tricuspid regurgitation, systolic pulmonary artery pressure was assessed. LVEF $\geq 50\%$ was regarded as normal, corresponding with the current European Society of Cardiology (ESC) guidelines on heart failure.⁹ Concomitant disease, symptomatology during COVID-19, allergies, age, body mass index (BMI), and nicotine use were all captured and correlated with possible post-COVID-19 symptoms.

Statistical analyses were conducted using IBM SPSS Statistics for Windows V.24 (IBM Corp, Released 2016). Data analysis was primarily descriptive. The Kolmogorov-Smirnov test revealed none of the nominal scale parameters was normally distributed, so median and IQR were calculated. Differences were analysed with Pearson's χ^2 test, and for independent samples, Mann-Whitney U test was used. Significance level was defined as $p < 0.05$. Additionally, we calculated ORs with 95% CIs to identify possible predictors for long-term symptoms.

RESULTS

In our study, 90 pilots with previous confirmed SARS-CoV-2 infection (82 active pilots and 8 pilot candidates) were evaluated prior to their return to flying duties. Eighty-eight of ninety were male aged between 20 and 62 years of age, with a median of 35 years (IQR 15 years). The median BMI was 25 kg/m² (IQR 3.5 kg/m²). In 88 individuals, SARS-CoV-2 infection was confirmed by PCR, in one case by rapid antigen test, and in one case this was not reported. Seventy-eight of ninety pilots (87%) reported COVID-19 symptoms, but only one pilot (1%) required hospitalisation. Outpatient treatment was required in two cases (2%).

Symptoms of COVID-19 differed between aircrew, from 63% for influenza-like symptoms to 2% for dyspnoea at rest. Percentages and absolute numbers are presented in Figure 1.

The median duration of COVID-19 symptoms was 6 days (IQR 9 days) with a maximum of 270 days. At the time of the evaluation (median 85 days after beginning of symptoms), eight (9%) pilots had ongoing COVID-19 symptoms.

Thirty pilots (33%) were vaccinated against SARS-CoV-2 at least once at the time of infection, while 60 (67%) were not. In 17 of those vaccinated, the vaccine Comirnaty by BioNTech (Mainz, Germany) was used, in 10 pilots the Spikevax by

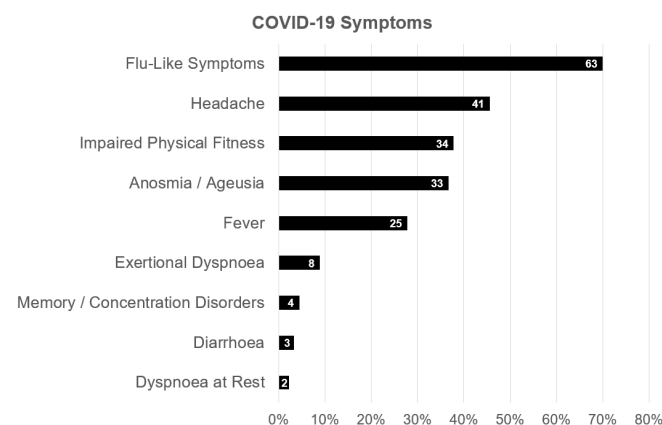


Figure 1 COVID-19 symptoms reported by the 90 pilots analysed (82 active pilots and 8 pilot applicants) in absolute numbers and percentages. Percentages are shown on the x-axis, absolute numbers are added in the bars.

Table 1 Laboratory results with median, IQR and number of pilots with pathologies

Parameter (unit)	Normal range	Median (IQR)				Number of pilots with pathologies			
		n all	All	Vac	n-Vac	All	Vac	n-Vac	P value
CRP (mg/dL)	<5	81	1.0 (0.25)	1.0 (0.0)	1.0 (1.5)	4%	7%	2%	0.279
LDH (U/L)	<225 ♂ <214 ♀	77	169.0 (32.3)	163.0 (30.5)	172.0 (37.5)	5%	4%	6%	0.628
Haemoglobin (g/L)	140–175 ♂ 120–155 ♀	82	150 (10)	150 (6)	160 (10)	11%	17%	8%	0.210
Leucocytes (10 ⁹ /L)	4.0–11.0	82	6.0 (2.0)	6.0 (2.0)	6.7 (1.5)	9%	0%	14%	0.036
Thrombocytes (10 ³ /μL)	140–345	82	241.0 (51.5)	238.0 (75.0)	243.0 (44.0)	4%	3%	4%	0.905
CK (U/L)	<225 ♂ <214 ♀	73	115.0 (65.0)	119.0 (93.5)	114.0 (63.5)	19%	23%	17%	0.529
CK-MB (U/L)	<23	72	12.0 (4.0)	12.0 (6.0)	12.0 (4.0)	4%	4%	4%	0.919
ΔFEV ₁		82	101% (7%)	102% (7%)	101% (8%)				
ΔVC		82	101% (5%)	102% (4%)	100% (5%)				
ΔFEV ₁ /FVC		82	99% (4%)	98% (6%)	100 (4%)				

For pulmonary function testing, the current results are compared with the last results before SARS-CoV-2 infection. Differences were calculated by the ratio 'values prior to SARS-CoV-2 infection/values post-SARS-CoV-2 infection'.

The bolded entry means that there is a significant difference (p<0.05).

CK, creatine kinase; CK-MB, creatine kinase isoenzyme MB; CRP, C reactive protein; FEV₁, forced expiratory volume in one second; FVC, forced vital capacity; LDH, lactate dehydrogenase; n, number; n-Vac, non-vaccinated; Vac, vaccinated; VC, vital capacity.

Moderna (Cambridge, Massachusetts, USA), and in 3 Janssen by Johnson & Johnson (New Brunswick, New Jersey, USA).

Fifty-three of ninety (61%) pilots had no concomitant disease, while 23 (26%) had known allergies, 2 (2%) had known bronchial asthma, 15 (17%) had known cardiovascular disease, and in 8 (9%) of cases, an autoimmune disease was reported including autoimmune thyroiditis.

The results of the laboratory testing are shown in Table 1. Most of the pilots have shown no abnormal values. In nearly one-fifth, CK was above normal range. A comparison of vaccinated and non-vaccinated pilots shows that leucocytes were significantly higher in non-vaccinated than in vaccinated pilots.

No abnormality was detected with echocardiography, and in eight pilots (9%), DLCO was slightly below 80% of the predicted value, without any signs of pulmonary disease and without any significant difference regarding the vaccination status (p=0.568). A comparison between pulmonary function test results before and after SARS-CoV-2 infection shows no reduction of FEV₁, VC or FEV₁/forced VC in any pilot. All pilots returned to flying duties after the evaluation by the GAFCAM.

Eight pilots still reported symptoms beyond the time of their last examination. In median, the last examination of these eight pilots was 148 days after their positive test result (minimum 26, maximum 314 days). From all infected pilots, eight could be classified with 'ongoing symptomatic COVID-19' (symptoms 4–12 weeks following initial symptoms) and additional six with 'post-COVID-19-syndrome' (symptoms beyond 12 weeks following initial symptoms) according to National Institute for Health and Care Excellence guidelines.² Table 2 shows ORs for the association between variable conditions and the presence of symptoms beyond the time of evaluation.

A prediction of 'ongoing symptomatic COVID-19' or 'post-COVID-19 syndrome' was not possible in our cohort. The analysed parameters showed no significant association with the persistence of symptoms beyond the time of examination. On the other hand, none of the pilots without influenza-like symptoms had ongoing symptoms beyond the time of examination.

DISCUSSION

To the best of our knowledge, this is the first systematic analysis of military pilots infected by SARS-CoV-2 published. Pilots work in a demanding environment with particularly high physical strain on the cardiorespiratory systems of many military aviators, secondary to sustained acceleration, hypobaric hypoxia, operational pressure, circadian disruption and poor infrastructure in the military environment.⁵ A sudden incapacitation in-flight for medical reasons could endanger not only the pilots themselves but also others affected by a possible aircraft accident and/or mission abortion. Therefore, a medical examination before return to flying duties is mandatory.¹⁰ The manner and extent of such an examination, however, may be different between different countries and licensing authorities^{4 10}; and it has to be adapted to the particular situation with regard to vaccination status of the population or collective, the SARS-CoV-2 variant, the type and severity of symptoms, and the type of aircraft flown.

During the data acquisition phase of this study, the Delta variant was the predominant variant, with just one-third of the pilots vaccinated against SARS-CoV-2. Due to the lack of significant pathology detected, all pilots were allowed to return to

Table 2 ORs for the association between variable conditions and the persistence of symptoms beyond the time of examination

Condition	OR (95% CI)
Duration of symptoms ≥7 days	1.56 (0.37 to 6.70)
Anosmia/ageusia	1.04 (0.23 to 4.66)
Impaired physical fitness	1.73 (0.40 to 7.44)
Fever	0.86 (0.16 to 4.55)
Exertional dyspnoea	4.22 (0.70 to 25.63)
Headache	1.22 (0.29 to 5.20)
Allergies	1.86 (0.41 to 8.48)
No concomitant disease	1.18 (0.26 to 5.28)
Smoker	2.63 (0.46 to 15.04)
Previous vaccination (SARS-CoV-2)	1.22 (0.27 to 5.50)

None of the listed conditions had the potential to predict ongoing symptoms and a possible development of a 'post-COVID-19 syndrome'.

flying despite persisting mild symptoms in eight (9%) of them. Only one required hospitalisation and two medical support due to COVID-19 symptoms. These low numbers are probably caused by the good health status of this medically preselected, regularly examined and comparatively young cohort.

Recently, the predominant variant of SARS-CoV-2 has changed to Omicron. This variant is more contagious than the Delta variant; however, the severity of symptoms and the number of hospitalisation seem to be lower.¹¹ Meanwhile, now most German pilots are fully vaccinated and boosted. Consequently, while there are more pilots infected by SARS-CoV-2, most are completely asymptomatic or with very mild symptoms. As our data show, even pilots who were infected by the Delta variant and, at the time not vaccinated, all returned to flying duties with very few needing hospitalisation or outpatient treatment. Fully vaccinated German military pilots can now be evaluated by the local flight surgeon with a reduced scope of examinations including medical history, physical examination, basic laboratory tests, ECG and spirometry after SARS-CoV-2 infection. Further examinations are added depending on symptoms and in the event of abnormal examination results. If physical fitness is unclear prior to return to flying duties, especially in high-performance pilots, an exercise ECG including measurement of oxygen saturation (SpO₂) may be performed.

As the lack of symptoms during or after recovery from SARS-CoV-2 infection does not exclude subclinical pulmonary and/or cardiac involvement, some authors recommend long-term monitoring for all subjects after recovery.¹² The authors observed a correlation of the severity of post-COVID-19 manifestation with the severity of the infection and the presence of comorbidities. The study was based on a questionnaire about demographic data, COVID-19 status, comorbidities and COVID-19 manifestations, which COVID-19 survivors had to complete. For pilots, this long-term monitoring could be done during their annual PME.

Similar to our approach during the previous COVID-19 waves, many Air Forces of other countries examine their pilots after recovery from COVID-19 prior to return to flying duties.⁵ The Israeli Aeromedical Center's recommendations to flight surgeons on the medical workup required before military aviators return to flight duties after recovery from COVID-19 have been published by Gilad and coworkers.¹⁰ Their recommended scope of standard examinations includes complete blood count, basic metabolic panel, urinalysis, chest radiography, ECG, basic pulmonary function tests, audiology and examination by an ENT specialist and by an ophthalmology specialist, flight surgeon evaluation and referral to an aeromedical psychiatrist in case of suspected psychosocial impact. Ancillary tests recommended for high-performance aviators and pilot cadets include pulmonary plethysmography, diffusion capacity of carbon monoxide and reduced oxygen breathing device training.¹⁰ For other flying classes, these ancillary tests are only undertaken in case of pathology found in standard aeromedical evaluation. In contrast to our initial approach, diffusion capacity of carbon monoxide is only measured in high-performance aviators and pilot cadets. A transthoracic echocardiography is only performed in case of abnormalities in their standard examinations. From our perspective, an adaptation of this comprehensive approach to the current situation could be discussed, as in our cohort, all pilots were able to return to flying duties, even though most of them were infected with the Delta variant. Currently, we would recommend a standard evaluation consisting of medical history, physical examination, 12-lead resting ECG and spirometry. A measurement of SpO₂ at rest and after a simple standardised stress test (eg, 6 min walk test, two flights of stairs) can be added,

as recommended in a recently published review article.⁴ Individuals with abnormal test results or with severe courses of disease should be referred for further assessment.

The presented study has particular strengths and some limitations. One of the strengths is the comprehensive analysis of all pilots infected with SARS-CoV-2 in the German Armed Forces. All the assessments were done at GAFCAM. A limitation of this study is the low number of included pilots limiting the value of the statistical analysis. This low number, however, reflects the situation prior to the emergence of the Omicron variant, when the number of cases increased. Additionally, it is possible that pilots without, or with very mild, symptoms were not tested, and that under-reporting exists. However, the development of ongoing symptomatic COVID-19 or post-acute COVID-19 syndrome in such pilots would be unlikely.

CONCLUSION

Due to their demanding working environment, pilots, and other high-hazard employees, should undergo medical evaluation prior to return to their duties. Ongoing symptoms, and subclinical pulmonary or cardiac involvement possibly leading to post-acute COVID-19 or post-COVID-19 syndrome, must be excluded to ensure full physical and mental fitness to safely execute their tasks. The scope of examinations will depend on the severity of the disease, comorbidities, vaccination status, the predominant SARS-CoV-2 variant and the type of aircraft flown. This should be done primarily by the local flight surgeon and, in case of severe symptoms or abnormal examination results, by specialists at centres for aerospace medicine.

Contributors TA and NJG designed the study, TA and NJG collected the data. SS did the statistical analysis. TA, NJG and EN drafted the manuscript. All authors critically revised the manuscript for critical intellectual content. All authors gave their final approval and agreed to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the article are appropriately investigated and resolved. NJG acted as a guarantor taking full responsibility for the content of the article.

Funding The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Competing interests None declared.

Patient consent for publication Not required.

Ethics approval According to the regulations of the Bavarian Medical Association, the responsible authority for this study, a vote of the ethics committee was not necessary for this retrospective analysis.

Provenance and peer review Not commissioned; externally peer reviewed.

Data availability statement Data are available upon reasonable request.

This article is made freely available for personal use in accordance with BMJ's website terms and conditions for the duration of the covid-19 pandemic or until otherwise determined by BMJ. You may download and print the article for any lawful, non-commercial purpose (including text and data mining) provided that all copyright notices and trade marks are retained.

ORCID iD

N J Guettler <http://orcid.org/0000-0001-5328-0315>

REFERENCES

- Maccarone MC, Magro G, Tognolo L, *et al.* Post COVID-19 persistent fatigue: a proposal for rehabilitative interventions in the spa setting. *Int J Biometeorol* 2021;65:2241–3.
- Venkatesan P. Nice guideline on long COVID. *Lancet Respir Med* 2021;9:129.
- World Health Organization. *A clinical case definition of post COVID-19 condition by a Delphi consensus. who reference number: WHO/2019-nCoV/Post COVID-19 condition/ Clinical case definition/2021.1*. 6. Geneva, Switzerland: WHO Headquarters, 2021.
- Rienks R, Holdsworth D, Davos CH, *et al.* Cardiopulmonary assessment prior to returning to high-hazard occupations post symptomatic COVID-19 infection: a position statement of the aviation and occupational cardiology Task force of the European association of preventive cardiology. *Eur J Prev Cardiol* 2022;10:zwac041.

- 5 Nicol ED, Rienks R, Gray G, *et al.* An introduction to aviation cardiology. *Heart* 2019;105:s3–8.
- 6 Gavriatopoulou M, Korompoki E, Fotiou D, *et al.* Organ-Specific manifestations of COVID-19 infection. *Clin Exp Med* 2020;20:493–506.
- 7 European Union. *Commission implementing regulation (EU) 2019/27 amending regulation (EU) No 1178/2011*, 2019.
- 8 European Union Aviation Safety Agency (EASA). *Acceptable means of compliance (AMC) and guidance material (Gm) to Part-MED. Medical requirements for aircrew. issue 2*. Cologne, Germany: EASA, 2019.
- 9 McDonagh TA, Metra M, Adamo M, *et al.* 2021 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J* 2021;42:3599–726.
- 10 Gilad D, Gabbai D, Tehori O, *et al.* Return to aviation duty after recovery from COVID-19. *J Mil Veteran Fam Health* 2021;7:116–20.
- 11 Veneti L, Bøås H, Bråthen Kristoffersen A, *et al.* Reduced risk of hospitalisation among reported COVID-19 cases infected with the SARS-CoV-2 omicron BA.1 variant compared with the delta variant, Norway, December 2021 to January 2022. *Euro Surveill* 2022;27:2200077.
- 12 Kamal M, Abo Omirah M, Hussein A, *et al.* Assessment and characterisation of post-COVID-19 manifestations. *Int J Clin Pract* 2021;75:e13746.